



Fakulta stavební
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Zastřešení železničního nástupiště

Roofing of a railway station

Bakalářská práce

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Vedoucí práce: prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.

Albert Zaruba

Praha 2018

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je navrhnout a posoudit ocelovou konstrukci zastřešení nástupiště železničního nádraží. Půdorysná plocha zastřešení je 9 x 42 m, světlá výška 3 m, lokalita stavby Liberec. V rámci dané práce byl zpracován rozbor více alternativ a vybrané 3 varianty nosné konstrukce zastřešení jsou porovnány na základě 4 kritérií. Nejvhodnější (vítězná) varianta je konstrukce typu „vlaštovka“ z nosníků vylehčených kruhovými otvory, která je podrobně řešena ve statickém výpočtu. Pro daný návrh je též zpracována výkresová dokumentace a technická zpráva.

Klíčová slova

Ocelová konstrukce, zastřešení nástupiště, stabilita, kruhové otvory.

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to design and assess the steel structure of a roofing of a railway station platform. Ground dimensions of the roofing are 9 x 42 m, clear height is 3 m, the structure is located in the city of Liberec. Within the thesis several alternatives were elaborated and final 3 variants of load bearing structure were compared on the basis of 4 criterions. The most appropriate (winning) option is a “swallow type” construction made of steel beams with large circular openings, the structure of which is solved in a detail. The project is accompanied by drawing documentation and technical report.

Keywords

Steel construction, platform roofing, stability, circular openings.

Poděkování

Rád bych poděkoval panu prof. Ing. Josefu Macháčkovi, DrSc., vedoucímu mé bakalářské práce, za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi pomohly zpracovat tuto závěrečnou práci.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně, a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Praze dne 25.5.2018

.....

Albert Zaruba

Prohlášení

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Praze dne 25.5.2018

.....

Albert Zaruba

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE****Fakulta stavební**

Tháškova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Zaruba Jméno: Albert Osobní číslo: _____
Zadávací katedra: 11134 Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Zastřešení železničního nástupiště
Název bakalářské práce anglicky: Roofing of a railway station

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte:

- varianty řešení a výběr optimální varianty,
- dispoziční výkres výsledného řešení,
- podrobný statický výpočet hlavních částí konstrukce,
- výkresy hlavních detailů,
- technickou zprávu.

Seznam doporučené literatury:

Časopisy, přednášky NNK, OK01.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Prof.Ing. Josef Macháček, DrSc.Datum zadání bakalářské práce: 20.2.2018 Termín odevzdání bakalářské práce: 27.5.2017_____
Podpis vedoucího práce_____
Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

20.2.2018_____
Datum převzetí zadání_____
Podpis studenta(ky)



Fakulta stavební
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Zastřešení železničního nástupiště

Roofing of a railway station

Studium variant

Albert Zaruba
Praha 2018

Obsah

1	Základní předpoklady porovnání	2
2	Alternativní varianty nosné konstrukce	3
2.1	Varianta 1 – Konstrukce typu „vlaštovka“ nebo prosté konzoly	3
2.2	Varianta 2 – Rámová konstrukce	4
2.3	Varianta 3 - Konstrukce typu „vlaštovka“ z nosníků s kruhovými otvory	5
3	Vyhodnocení jednotlivých variant	7
4	Příloha – skicy dalších předběžných variant	8

1 Základní předpoklady porovnání

Alternativní varianty nosné konstrukce zastřešení nástupiště byly porovnány na základě následujících předpokladů:

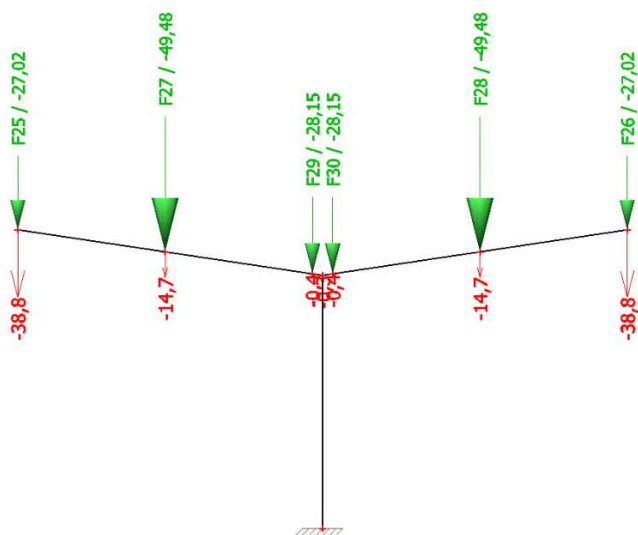
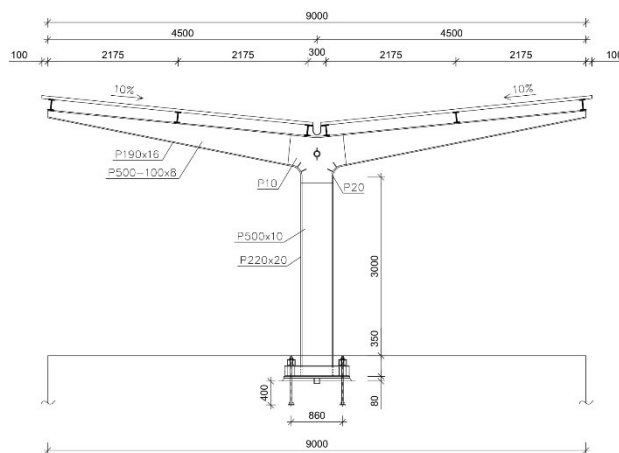
- Půdorysná plocha zastřešení 9 x 42 m, světlost 3 m, lokalita Liberec (oblast VI podle sněhové mapy ČR $\rightarrow S_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$), oboustranné nástupiště, modulové vzdálenosti příčných vazeb 7 m, vodorovná vzdálenost vaznic je 2,175 m (symetrická konstrukce, 3 vaznice na každé straně), sklon střešního pláště 10 %.
- 3 alternativní varianty budou porovnány na základě následujících kritérií: estetika, pracnost při výrobě, pracnost při montáži, hmotnost jedné příčné vazby.
- Hmotnost příčných vazeb variant bude spočítána za podmínky přibližně stejného využití profilů v kritických místech při MSP (dle maximálního svislého průhybu nosné konstrukce).
- Konstrukce pro zjednodušení budou zatížené pouze charakteristickým zatížením sněhem (zatěžovací stav s navátým sněhem). Vlastní tíha nosných prvků se neuvažuje. Podrobný výpočet zatížení – viz statický výpočet.
- Výpočet svislého průhybu bude proveden v programu SCIA Engineer.
- Investor vyžaduje, aby největší svislý průhyb nepřekročil mezní hodnotu $\frac{L}{150}$, kde L je vzdálenost podpor nebo dvojnásobek délky konzoly.

2 Alternativní varianty nosné konstrukce

2.1 Varianta 1 – Konstrukce typu „vlaštovka“ nebo prosté konzoly



VARIANTA 1



Na základě provedeného výpočtu maximální svislý průhyb $\delta = 38,8$ mm. V daném případě L je dvojnásobek délky konzoly. $L = 2 \cdot 4500 = 9000$ mm.

$$\delta = 38,8 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = \frac{9000}{150} = 60 \text{ mm} \rightarrow \rightarrow \text{OK}$$

Využití 64,7 %

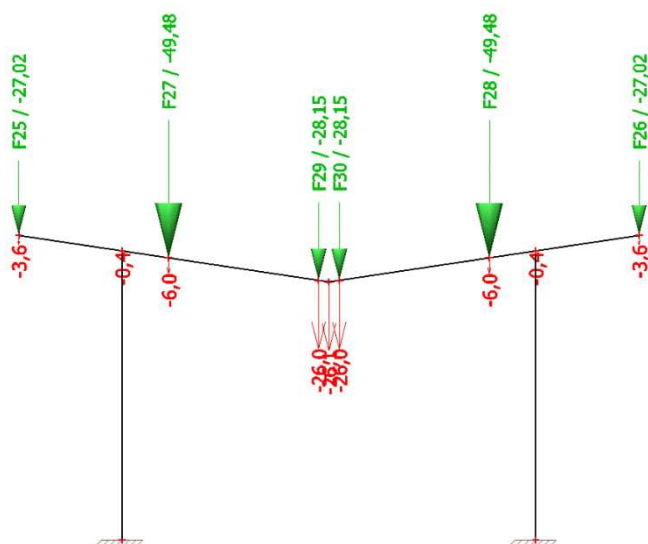
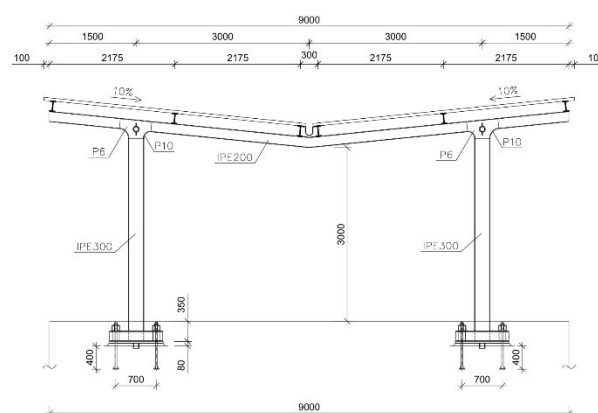
Výpočet hmotnosti jedné příčné vazby nosné konstrukce (dále jen NK) byl proveden v programech AutoCAD a MS Excel. Shrnutí výpočtu je v níže uvedené tabulce:

Prut		Profil	Materiál	Plocha plechu	Tloušťka plechu	Objem plechu	Hmotnost
				[mm ²]	[mm]	[mm ³]	[kg]
Konzola jedna	Stojina	P500-100x8	S355	1223443	8	9787543	76,83
	Pásnice	P190x16	S355	1552680	16	24842880	195,02
	Celkem	svařovaný	S355			34630423	271,85
Konzoly	Celkem	svařovaný	S355			69260846	543,70
Sloup	Stojina	P500x10	S355	2239817	10	22398169	175,83
	Pásnice	P220x20	S355	1813680	20	36273600	284,75
	Celkem	svařovaný	S355			58671769	460,57
Celkem jedna příčná vazba							1004,27

2.2 Varianta 2 – Rámová konstrukce



VARIANTA 2



Na základě provedeného výpočtu maximální svislý průhyb $\delta = 26,1$ mm. V daném případě L je vzdálenost podpor. $L = 6000$ mm.

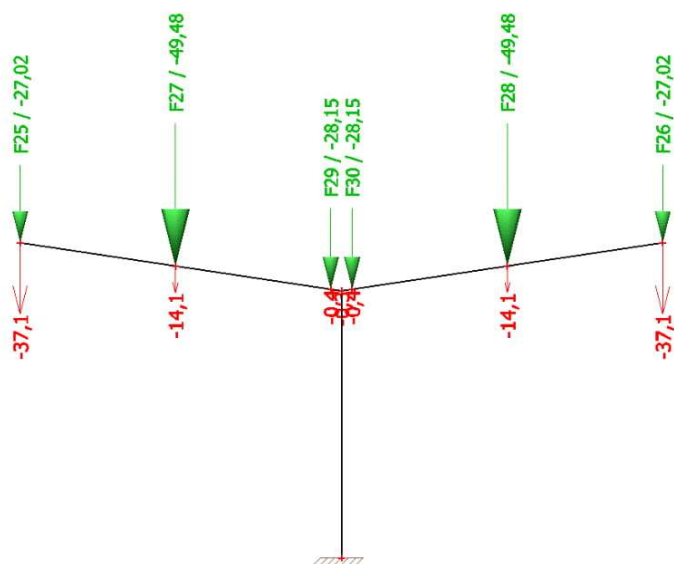
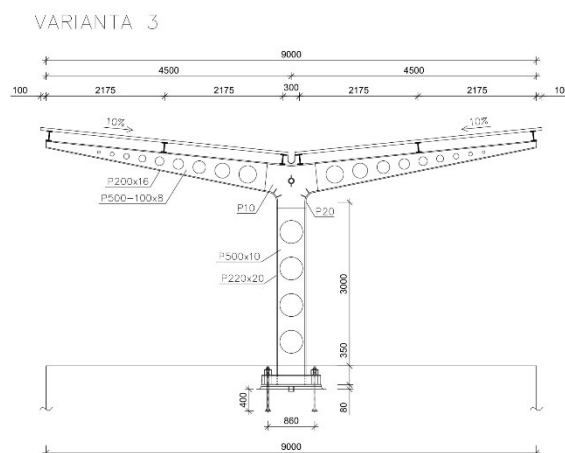
$$\delta = 26,1 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = \frac{6000}{150} = 40 \text{ mm} \rightarrow \rightarrow \text{OK}$$

Využití 65,3 %

Výpočet hmotnosti jedné příčné vazby NK byl proveden v programech AutoCAD a MS Excel. Shrnutí výpočtu je v níže uvedené tabulce:

Prut	Profil	Materiál	Jednotková hmotnost	Délka	Hmotnost
			[kg/m]	[m]	[kg]
Konzoly a střední část	IPE200	S355	22,4	9,100	203,84
Sloupy celkem	IPE300	S355	42,2	8,386	353,89
Celkem jedna příčná vazba					557,73

2.3 Varianta 3 - Konstrukce typu „vlaštovka“ z nosníků s kruhovými otvory



Výsledky z AutoCADu:

$$I_{p\text{plný}} = 5,095 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$I_0 = 4,876 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$\delta_0 = \delta_{p\text{plný}} \cdot \frac{I_{p\text{plný}}}{I_0}$, kde δ_0 je svislý průhyb konzoly s vlivem kruhových otvorů ve stojně

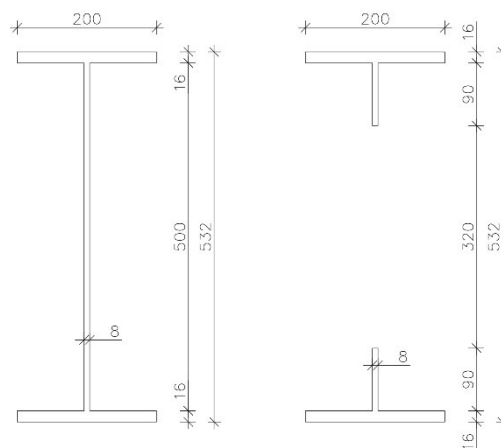
$$\delta_0 = 37,1 \cdot \frac{5,095 \cdot 10^8}{4,876 \cdot 10^8} = 38,8 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = \frac{9000}{150} = 60 \text{ mm}$$

→ OK

Na základě provedeného výpočtu maximální svislý průhyb bez uvažování otvorů $\delta_{p\text{plný}} = 37,1 \text{ mm}$. Vliv otvorů na průhyb konzol zjednodušeně zohledníme pomocí poměru momentů setrvačnosti $\left(\frac{I_{p\text{plný}}}{I_0}\right)$ průřezu bez otvoru a s otvorem. Výpočet momentů setrvačnosti byl proveden na základě průřezu konzoly v místě připojení ke sloupu – viz obrázek dole.

PLNÝ PRŮŘEZ

PRŮŘEZ OSLABENÝ KRUHOVÝM OTVOREM



V daném případě L je dvojnásobek délky konzoly. $L = 2 \cdot 4500 = 9000 \text{ mm}$.

Využití 64,7 %

Výpočet hmotnosti jedné příčné vazby NK byl proveden v programech AutoCAD a MS Excel. Shrnutí výpočtu je v níže uvedené tabulce:

Prut		Profil	Materiál	Plocha plechu [mm ²]	Tloušťka plechu [mm]	Objem plechu [mm ³]	Hmotnost [kg]
Konzola jedna	Stojina bez otvorů	P500-100x8	S355	1223443	8	9787543	76,83
	Stojina s otvory	P500-100x8	S355	965057	8	7720455	60,61
	Pásnice	P200x16	S355	1634400	16	26150400	205,28
	Celkem	svařovaný	S355			33870855	265,89
Konzoly	Celkem	svařovaný	S355			67741710	531,77
Sloup	Stojina bez otvorů	P500x10	S355	2239817	10	22398169	175,83
	Stojina s otvory	P500x10	S355	1685921	10	16859209	132,34
	Pásnice	P220x20	S355	1813680	20	36273600	284,75
	Celkem	svařovaný	S355			53132809	417,09
				Celkem jedna příčná vazba			948,86

3 Vyhodnocení jednotlivých variant

Jako výsledná varianta bude vybrána ta, která získá nejvyšší počet bodů v součtu podle 4 kritérií. V rámci každého kritéria je možné získat nejvíc 5 bodů (5 bodů pro varianty je nejspokojivější). Podrobné vyhodnocení je uvedeno v tabulce níže:

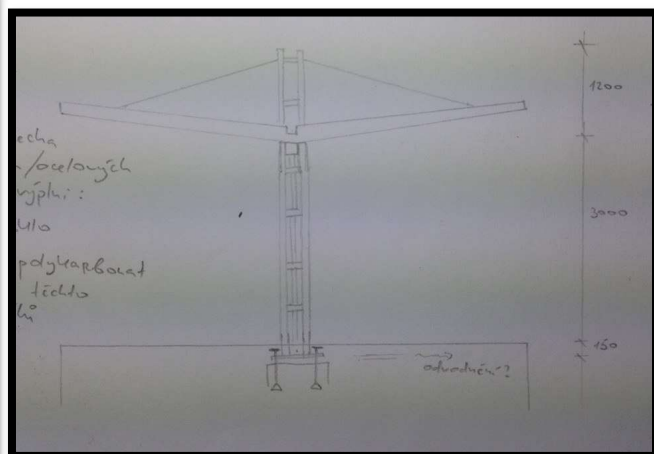
Kritérium	Varianta 1 Konstrukce typu "vlaštovka" nebo prosté konzoly	Varianta 2 Rámová konstrukce	Varianta 3 Konstrukce typu "vlaštovka" z nosníků s kruhovými otvory
Pracnost při výrobě	4	5	3
Pracnost při montáži	4	2	4
Hmotnost jedné příčné vazby	2	5	3
Estetika	4	2	5
Σ	14	14	⑮

Z tabulky vyplývá, že nejvhodnějším řešením je varianta 3. Tato varianta bude podrobně řešena ve statickém výpočtu.

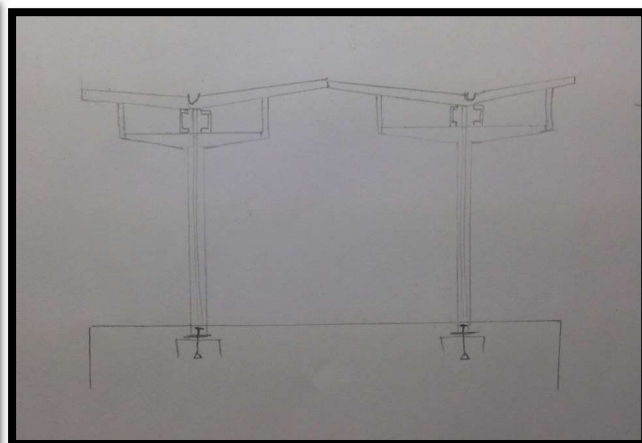
4 Příloha – skicy dalších předběžných variant

V této kapitole budou uvedeny další předběžné varianty řešení NK, které nepostoupily do finálního hodnocení z důvodu velké pracnosti při výrobě nebo montáži a vysoké ceně.

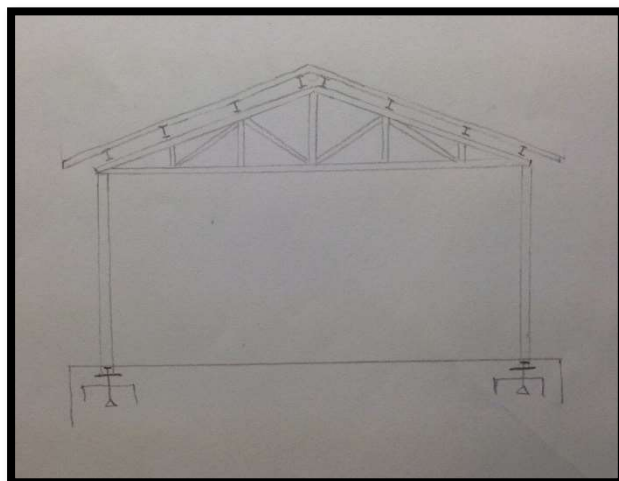
Zavěšená konstrukce



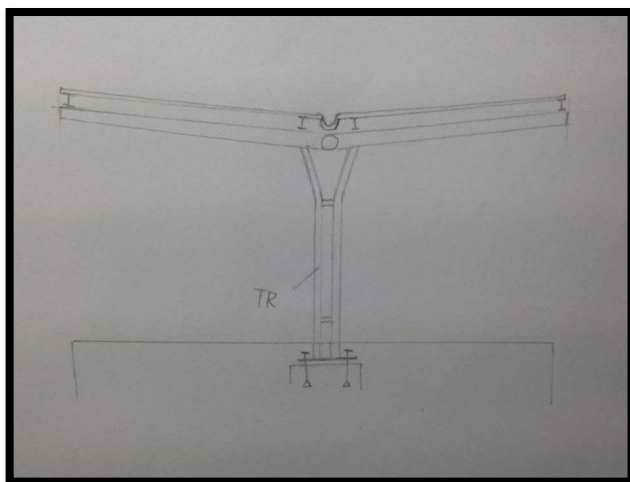
Rámová konstrukce s podélnými nosníky z U-profilů



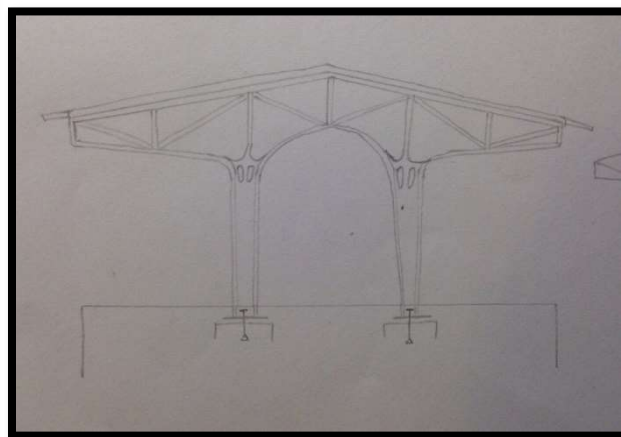
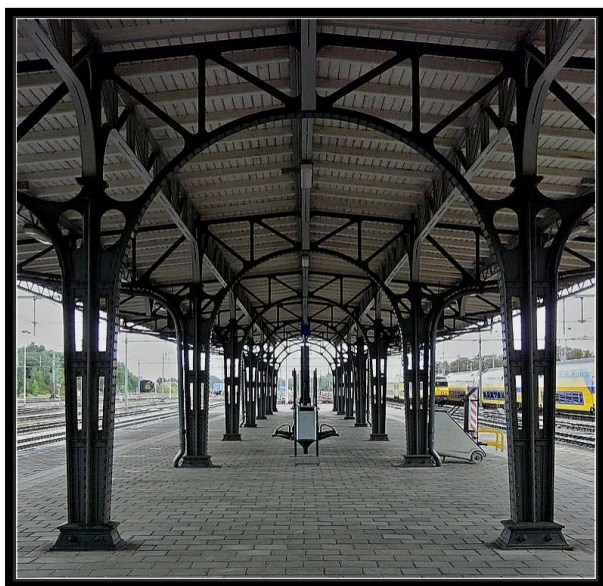
Vazníková konstrukce



Konstrukce typu „vlaštovka“ s dvojitým středním sloupem



Vazníková konstrukce s obloukem





Fakulta stavební
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Zastřešení železničního nástupiště

Roofing of a railway station

Statický výpočet

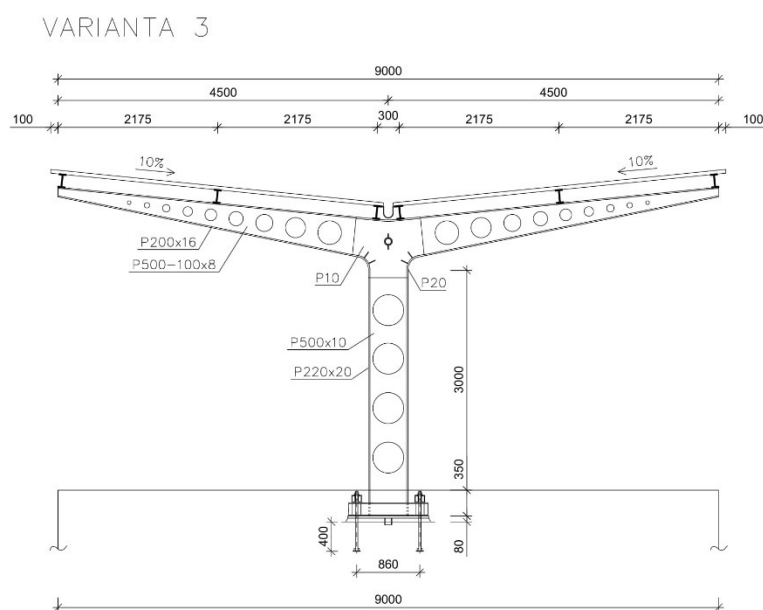
Albert Zaruba
Praha 2018

Obsah

1	Popis a parametry navrhované konstrukce	2
2	Zatížení	3
2.1	Zatížení sněhem	3
2.2	Zatížení větrem	5
2.2.1	Příčný vítr	5
2.2.2	Podélný vítr	8
3	Střešní plášť	9
3.1	Zatížení střešního pláště	9
3.2	Návrh a posouzení střešního pláště	9
4	Vaznice	12
4.1	Zatížení vaznice	12
4.2	Návrh a posouzení vaznice	13
5	Příčná vazba	15
5.1	Zatížení příčné vazby	15
5.2	Kombinace zatěžovacích stavů	18
5.3	Vnitřní síly příčné vazby	20
5.4	Posouzení příčné vazby	22
5.4.1	Mezní stav únosnosti	22
5.4.1.1	Konzola	22
5.4.1.2	Sloup	27
5.4.2	Mezní stav použitelnosti	32
6	Detailní posouzení nosníků v místě otvorů	33
6.1	Plastická únosnost	33
6.2	Únosnost ve smyku	34
6.3	Únosnost stojiny mezi otvory v ohybu a vzpěru (boulení)	36
7	Patka sloupu	38
7.1	Posouzení patky na kombinaci tlaku a ohybu, na prostý tah	39
7.2	Přenos zatížení větrem v podélném směru	42
7.3	Smyková zarážka	44
8	Použitá literatura	46

1 Popis a parametry navrhované konstrukce

V této části bude proveden návrh a podrobný statický výpočet hlavních nosných prvků ocelové konstrukce za účelem zastřešení nástupiště železničního nádraží. Na základě vypracované studií alternativ byla vybrána varianta č. 3 – konstrukce typu „vlaštovka“ z nosníků s kruhovými otvory. Ta se skládá ze 7 příčných vazeb ve vzdálenostech 7 m, vaznic a střešního pláště. Nosná konstrukce (dále jen NK) každé příčné vazby se skládá ze sloupu, dvou symetrických konzol s proměnným průřezem a spojovací části. Sloup a konzoly jsou ze svařovaných profilů tvaru I. Pro vylehčení a estetický vzhled konstrukce ve stojinách nosníků budou vypáleny kruhové otvory.



Parametry konstrukce:

- Půdorysná plocha zastřešení: 9 x 42 m
- Délka: 6 x 7000 = 42000 mm
- Šířka nástupiště: 9000 mm
- Minimální světlost: 3000 mm
- Lokalita stavby: Liberec
- Oboustranné nástupiště

- Tepelný součinitel:

$$C_t = 1,0$$

- Místní podmínky:

- nevznikají navátí sněhu u překážek
- nevznikají sněhové převisy u okrajů střechy
- na střeše nejsou sněžníky nebo jiné překážky

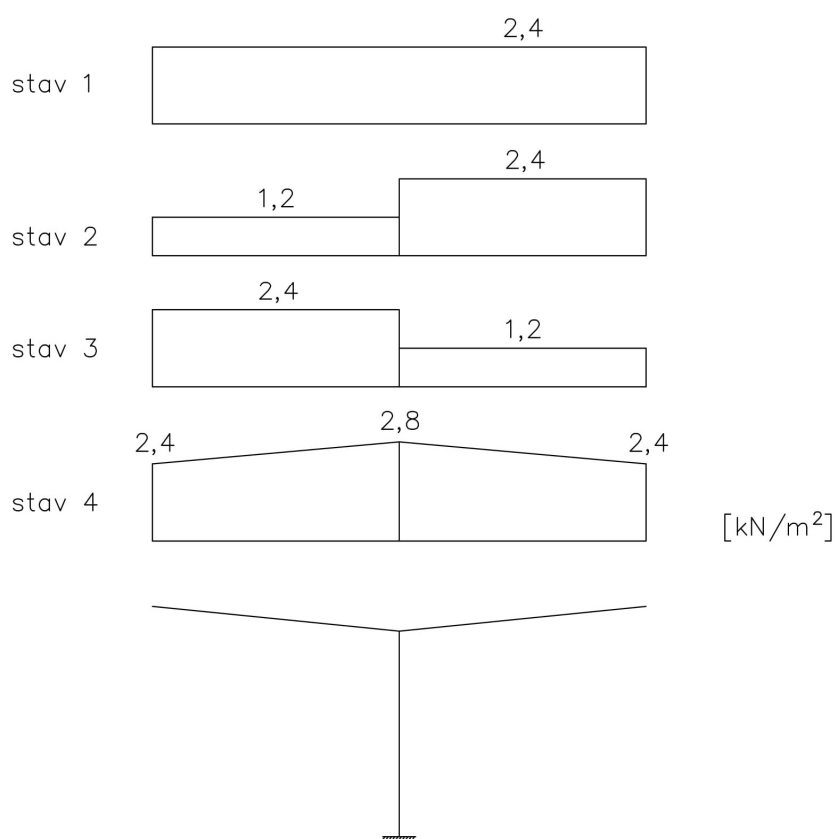
- Zatěžovací stavy:

$$s = \mu_1(5^\circ) * C_e * C_t * s_k = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 3,0 = 2,4 \text{ kN/m}^2$$

$$s = \mu_2(5^\circ) * C_e * C_t * s_k = 0,933 * 1,0 * 1,0 * 3,0 = 2,8 \text{ kN/m}^2$$

$$s = 0,5\mu_1(5^\circ) * C_e * C_t * s_k = 0,5 * 0,8 * 1,0 * 1,0 * 3,0 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

- stav 1 – rovnoměrné zatížení střechy způsobené nenavátým sněhem
- stav 2 – poloviční zatížení na levé straně střechy (nenavátý sníh)
- stav 3 – poloviční zatížení na pravé straně střechy (nenavátý sníh)
- stav 4 – nerovnoměrné zatížení střechy způsobené navátým sněhem



2.2 Zatížení větrem

2.2.1 Příčný vítr

$$F_w = c_s * c_d * c_f * q_p(z_e) * A_{ref} \quad [\text{kN}]$$

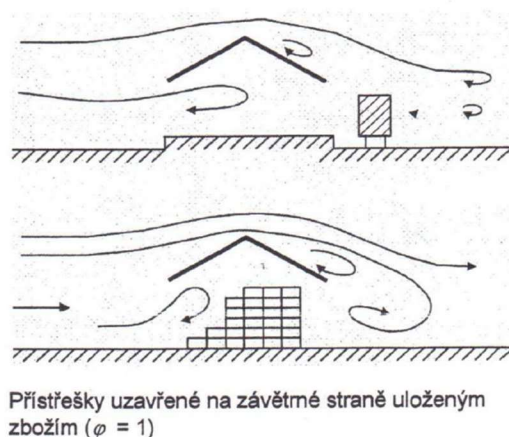
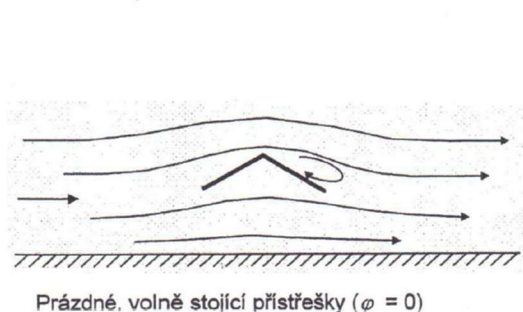
$c_s * c_d = 1$ – součinitel konstrukce vyjadřující vliv velikosti a dynamických vlastností ($c_s c_d = 1$ – bezpečná hodnota)

- Součinitel celkové síly c_f :

Podle ČSN EN 1991-1-4 odečteme hodnoty součinitele celkové síly c_f z tabulky 7.7 pro sedlové přístřešky:

úhel sklonu střechy $\alpha = -5^\circ \rightarrow$ maximum všech φ $c_f = +0,3$

minimum $\varphi = 1$ $c_f = -1,3$



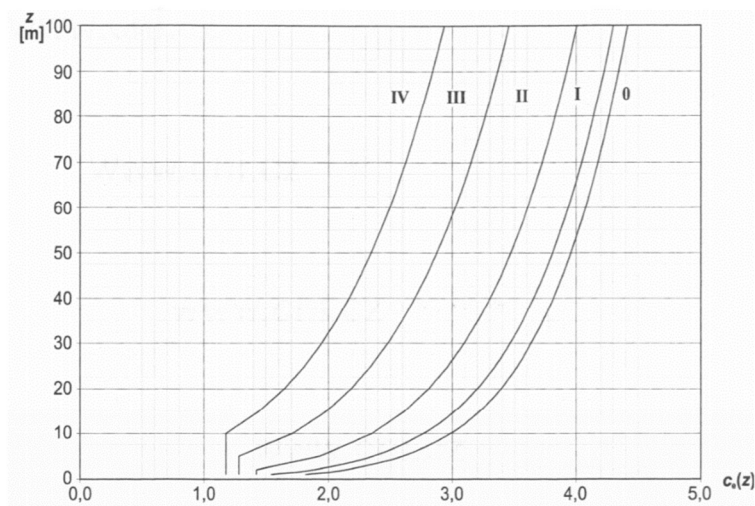
Pro sání větru rozhoduje nejhorší případ $\varphi = 1$. Je možné přítomnost stánku s občerstvením uvnitř přístřešku nebo stojící vlak z jedné strany nástupiště.

- Maximální dynamický tlak $q_p(z_e)$:

$$q_p(z_e) = c_e(z_e) * q_b(z_e)$$

$z_e = h = 4,355 \text{ m}$ (kategorie terénu IV – nejméně 15 % povrchu je zastavěno budovami)

Součinitel expozice $c_e(z_e)$ odečteme z níže uvedeného grafu podle výšky konstrukce nad terénem z_e a kategorie terénu $\rightarrow c_e(z_e) = 1,2$.



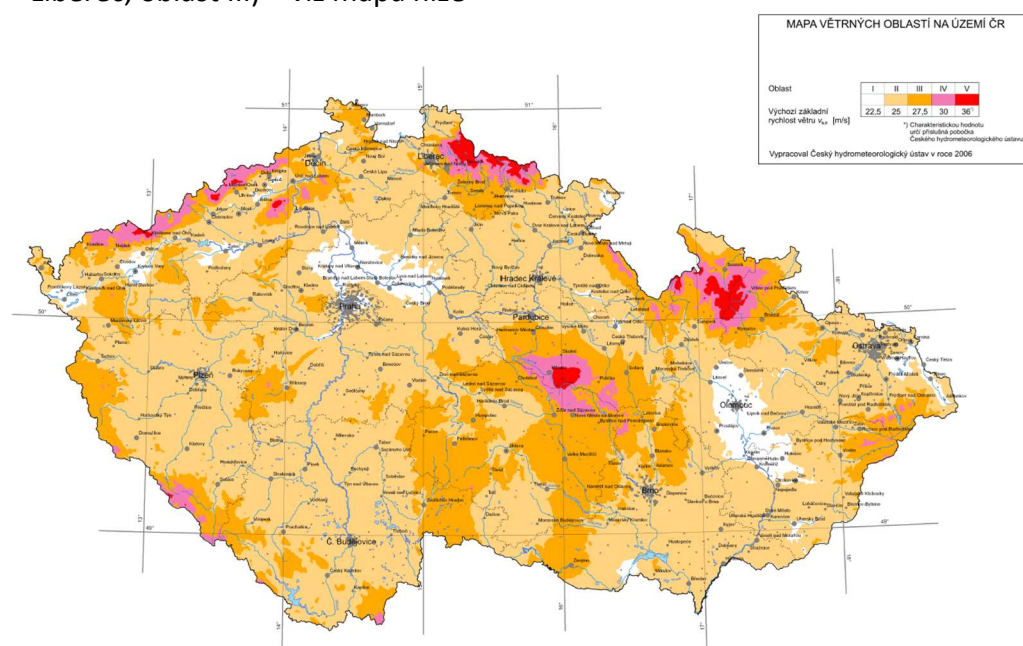
Základní tlak větru $q_b(z_e) = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(z_e)$, kde $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ – měrná hmotnost vzduchu.

Základní rychlost větru $v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0}$, kde:

$c_{dir} = 1,0$ – součinitel směru větru

$c_{season} = 1,0$ – součinitel ročního období

$v_{b,0} = 27,5 \text{ m/s}$ (součinitel byl získán odečtením z mapy větrných oblastí na území ČR, lokalita – Liberec, oblast III) – viz mapa níže



Obr. Mapa větrných oblastí

$$v_b = 1 * 1 * 27,5 = 27,5 \text{ m/s}$$

$$q_b(z_e) = \frac{1}{2} * 1,25 * (27,5)^2 = 472,66 \text{ kg/ms}^2 = 0,473 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p(z_e) = 1,2 * 0,473 = 0,568 \text{ kN/m}^2$$

- Výsledné celkové zatížení f_w střechy přístřešku:

maximum všech φ $f_w = 1 * 0,3 * 0,568 = 0,170 \text{ kN/m}^2$

minimum $\varphi = 1$ $f_w = 1 * (-1,3) * 0,568 = -0,738 \text{ kN/m}^2$

- Vodorovná síla W_e od příčného větru působící na sloup přístřešku:

Předběžně budeme uvažovat, že zatížená (návětrná) plocha sloupu je:

$A = 3 * 0,22 = 0,66 \text{ m}^2$, což je $< 1 \text{ m}^2 \rightarrow c_{pe} = c_{pe,1}$,
kde c_{pe} – součinitel vnějšího tlaku.

Označení svislých oblastí konstrukce je na obrázku vpravo.

$h = 3 \text{ m}$ – výška sloupu

$d = 0,54 \text{ m}$ – šířka sloupu, z toho plyne:

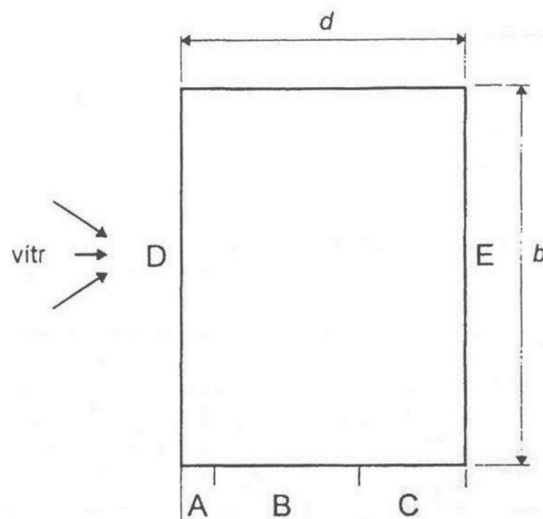
poměr $h/d = 3/0,54 = 5,56$.

pro oblast D $c_{pe,1} = +1,0$ (tlak)

pro oblast E $c_{pe,1} = -0,7$ (sání)

$w_e = q_p(z_e) * c_{pe,1} = 0,568 * (1 + 0,7) = 0,966 \text{ kN/m}^2$

PŮDORYS



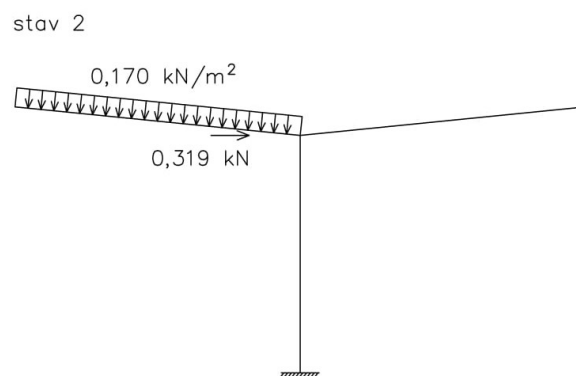
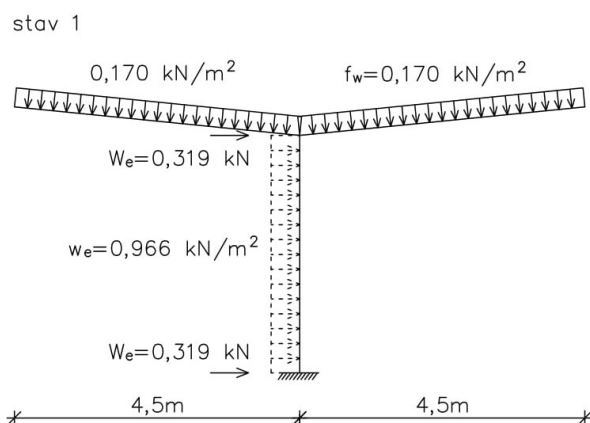
Obr. Označení svislých oblastí

Předpokládáme, že první půlka zatížení půjde do patky sloupu a druhá půlka půjde do místa styku konzol a sloupu. To znamená, že:

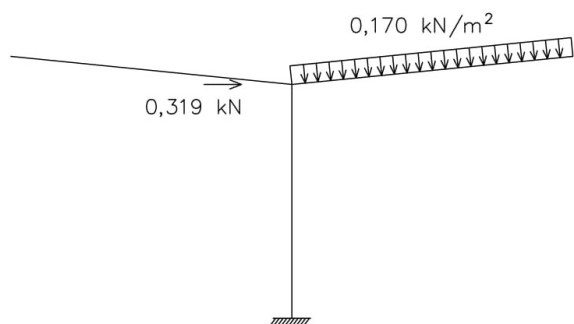
$W_e = \frac{1}{2} * A * w_e = \frac{1}{2} * 0,66 * 0,966 = 0,319 \text{ kN}$

- Zatěžovací stavy:

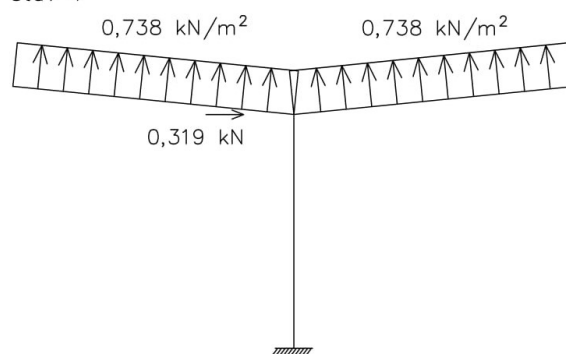
Celkem jsou 6 zatěžovacích stavů podle obrázků níže (plošné zatížení střechy působí na střešní plášť):



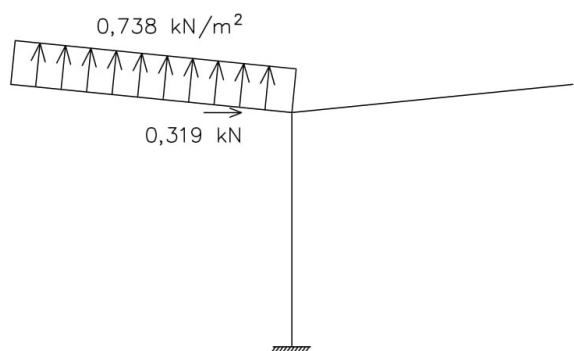
stav 3



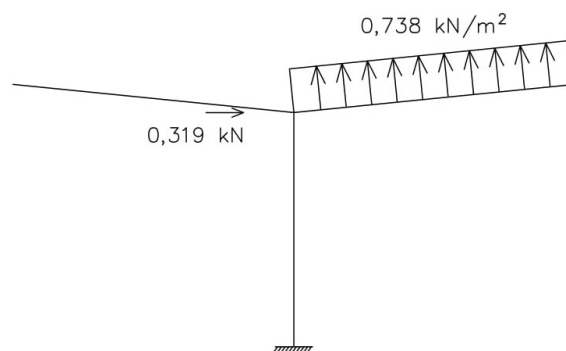
stav 4



stav 5

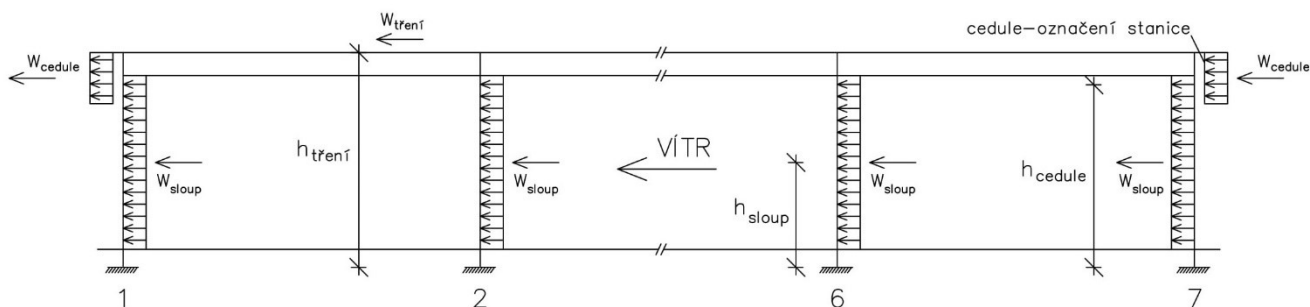


stav 6



2.2.2 Podélný vítr

Zatížení podélným větrem se zohlední až při návrhu patky sloupů. Na návrh příčné vazby, střešního pláště a vaznic podstatný vliv mít nebude, tedy se zanedbá. Skládá se ze tří částí. První je plošné zatížení působící na stojinu sloupů. Druhá část zatížení podélným větrem působí na informační ceduli (označení železniční stanice). Informační cedule se nacházejí na čelních stranách nástupiště – viz obrázek dolů. Třetí část je třecí síla vznikající na střeše konstrukce od podélného větru a působící v celé ploše střechy. Výše uvedené síly působí na rameni h a vyvolávají ohybový moment, který namáhá kotevní šrouby patky sloupů.



Výpočet sil W_{sloup} , W_{cedule} a $W_{tření}$ bude proveden při návrhu patky sloupů.

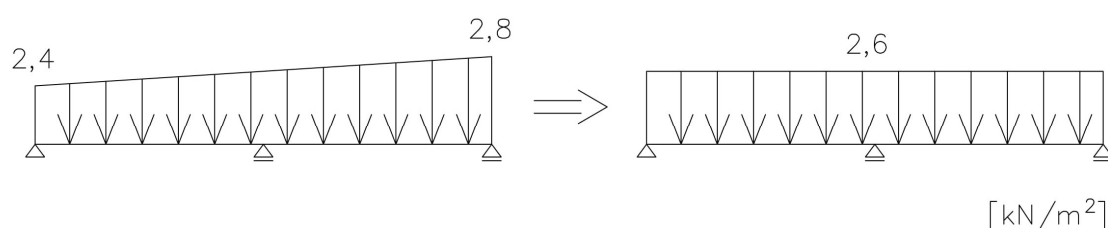
3 Střešní plášť

3.1 Zatížení střešního pláště

- Zatížení sněhem:

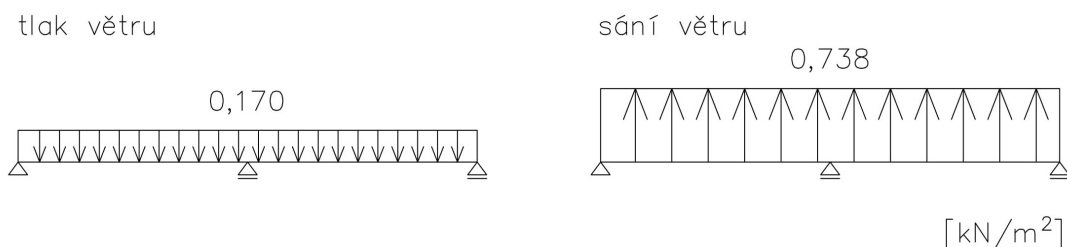
Pro návrh střešního pláště uvažujeme zatěžovací stav č. 4 (viz str. 4) – případ s navátým sněhem (způsobuje největší svislé zatížení). Střešní plášť navrhujeme pouze na jednu stranu „vlastovky“, protože konstrukce je symetrická.

Pro umožnění použití tabulek únosnosti trapézových plechů provedeme zjednodušení – lineárně měnící zatížení sněhem převedeme na rovnoměrné.



- Zatížení větrem:

U zatížení větrem v daném případě se uvažuje pouze zatížení příčným větrem na střechu konstrukce. Podle obrázku na str. 7-8 je vidět, že z hlediska návrhu střešního pláště se mohou nastat dvě situace: tlak a sání větru.



- Vlastní tíha střešního pláště:

Vlastní tíhu střešního pláště zatím odhadneme:

$$g_0 = 10 \text{ kg/m}^2 = 0,1 \text{ kN/m}^2.$$

3.2 Návrh a posouzení střešního pláště

- Kombinace zatěžovacích stavů (dále jen KZS) :

Součinitele zatížení:

$$\gamma_G = 1,35 \text{ – stálé zatížení}$$

$$\gamma_Q = 1,50 \text{ – proměnné zatížení}$$

- KZS1: vlastní tíha + sníh + příčný vítr (tlak)
 $q_{ek} = 0,1 + 2,6 + 0,170 = 2,87 \text{ kN/m}^2$
 $q_{ed} = 1,35 \cdot 0,1 + 1,50 \cdot 2,6 + 1,50 \cdot 0,170 = 4,29 \text{ kN/m}^2$
- KZS2: vlastní tíha + vítr (sání)
 $q_{ek} = 0,1 - 0,738 = -0,64 \text{ kN/m}^2$
 $q_{ed} = 1,35 \cdot 0,1 - 1,50 \cdot 0,738 = -0,97 \text{ kN/m}^2$

- Návrh střešního pláště:

Pro náš typ konstrukce je vhodné navrhnout ocelový trapézový plech bez tepelné izolace. Toto učiníme na základě tabulek únosnosti plechů, které uvádí výrobce. Pro příslušný rozpon, počet polí, typ trapézového plechu, nominální tloušťku a pozitivní/negativní polohu vyhledáme únosnosti pro MSÚ a MSP, následně provedeme posouzení navrženého střešního pláště. Pozitivní polohou v tabulkách se rozumí případ, kdy je uprostřed rozpětí tlačena strana plechu označená písmenem „A“ (negativní naopak).

V tabulkách, pro MSÚ uvažujeme hodnotu q_{Rd2} – přesah plechu min. 40 mm za krajní podporu, šířka vnitřní podpory min. 60 mm.

Návrh: trapézový plech TR 35/207/1,00, spojitý nosník o dvou polích, ocel S320 GD,

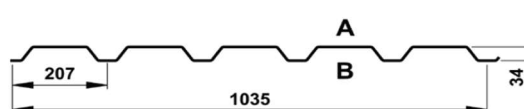
vlastní tíha $g_0 = 9,66 \text{ kg/m}^2 = 0,097 \text{ kN/m}^2$.

Pro rozpon jednoho pole 2,175 m, interpolací dostaneme:

poz. poloha $q_{Rd2} = 4,87 \text{ kN/m}^2$, $q_{Rk} = 3,51 \text{ kN/m}^2$

neg. poloha $q_{Rd2} = 4,76 \text{ kN/m}^2$, $q_{Rk} = 4,55 \text{ kN/m}^2$

Tab. 1.3 Únosnost plechu TR 35/207



Nominální t_{nom} [mm]	Vlastní tíha g [kg/m ²]	Mezní stav	TR 35/207, spojitý nosník o dvou polích, pozitivní poloha									
			Rozpon [m]									
			1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	
0,63	6,09	q_{Rd1}	9,57	4,83	2,91	1,87	1,30	0,96	0,73	0,58	0,47	
		q_{Rd2}	8,19	4,28	2,63	1,79	1,29	0,96	0,73	0,58	0,47	
		q_{Rk}	17,07	5,06	2,13	1,09	0,63	0,40	0,27	0,19	0,14	
0,75	7,25	q_{Rd1}	12,86	6,43	3,78	2,43	1,69	1,24	0,95	0,75	0,61	
		q_{Rd2}	11,04	5,71	3,50	2,37	1,69	1,24	0,95	0,75	0,61	
		q_{Rk}	21,79	6,46	2,72	1,39	0,81	0,51	0,34	0,24	0,17	
0,88	8,50	q_{Rd1}	16,77	8,32	4,78	3,07	2,13	1,57	1,20	0,95	0,77	
		q_{Rd2}	14,44	7,42	4,52	3,05	2,13	1,57	1,20	0,95	0,77	
		q_{Rk}	27,99	8,29	3,50	1,79	1,04	0,65	0,44	0,31	0,22	
1,00	9,66	q_{Rd1}	20,67	10,15	5,75	3,69	2,56	1,88	1,44	1,14	0,92	
		q_{Rd2}	17,85	9,11	5,54	3,69	2,56	1,88	1,44	1,14	0,92	
		q_{Rk}	34,11	10,11	4,26	2,18	1,26	0,80	0,53	0,37	0,27	
1,13	10,92	q_{Rd1}	25,15	12,06	6,84	4,38	3,05	2,24	1,72	1,36	1,10	
		q_{Rd2}	21,77	11,05	6,69	4,38	3,05	2,24	1,72	1,36	1,10	
		q_{Rk}	41,09	12,17	5,14	2,63	1,52	0,96	0,64	0,45	0,33	
1,25	12,08	q_{Rd1}	29,49	13,85	7,86	5,04	3,50	2,58	1,97	1,56	1,26	
		q_{Rd2}	25,57	12,91	7,79	5,04	3,50	2,58	1,97	1,56	1,26	
		q_{Rk}	47,78	14,16	5,97	3,06	1,77	1,11	0,75	0,52	0,38	

Tab. Únosnosti TR 35/207 pro pozitivní polohu

Nominální t_{nom} [mm]	Vlastní tíha g [kg/m ²]	Mezní stav	TR 35/207, spojitý nosník o dvou polích, negativní poloha								
			Rozpon [m]								
			1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00
0,63	6,09	q_{Rd1}	9,13	4,59	2,71	1,75	1,22	0,90	0,69	0,54	0,44
		q_{Rd2}	7,82	4,08	2,51	1,70	1,22	0,90	0,69	0,54	0,44
		q_{Rk}	23,47	6,95	2,93	1,50	0,87	0,55	0,37	0,26	0,19
0,75	7,25	q_{Rd1}	12,37	6,18	3,59	2,32	1,61	1,18	0,91	0,72	0,58
		q_{Rd2}	10,63	5,51	3,37	2,29	1,61	1,18	0,91	0,72	0,58
		q_{Rk}	29,92	8,86	3,74	1,91	1,11	0,70	0,47	0,33	0,24
0,88	8,50	q_{Rd1}	16,32	8,12	4,64	3,00	2,09	1,53	1,18	0,93	0,75
		q_{Rd2}	14,07	7,25	4,43	3,00	2,09	1,53	1,18	0,93	0,75
		q_{Rk}	37,27	11,04	4,66	2,39	1,38	0,87	0,58	0,41	0,30
1,00	9,66	q_{Rd1}	20,29	9,86	5,59	3,59	2,50	1,84	1,41	1,11	0,90
		q_{Rd2}	17,53	8,94	5,42	3,59	2,50	1,84	1,41	1,11	0,90
		q_{Rk}	44,20	13,10	5,52	2,83	1,64	1,03	0,69	0,49	0,35
1,13	10,92	q_{Rd1}	24,36	11,45	6,49	4,17	2,90	2,13	1,63	1,29	1,05
		q_{Rd2}	21,10	10,67	6,44	4,17	2,90	2,13	1,63	1,29	1,05
		q_{Rk}	50,17	14,87	6,27	3,21	1,86	1,17	0,78	0,55	0,40
1,25	12,08	q_{Rd1}	28,25	12,93	7,33	4,71	3,28	2,41	1,84	1,46	1,18
		q_{Rd2}	24,52	12,31	7,33	4,71	3,28	2,41	1,84	1,46	1,18
		q_{Rk}	55,68	16,50	6,96	3,56	2,06	1,30	0,87	0,61	0,45

Tab. Únosnosti TR 35/207 pro negativní polohu

Jelikož skutečná hodnota vlastní tíhy plechu se liší od odhadované hodnoty, musíme opravit KZS.

- Oprava KZS:

- KZS1: vlastní tíha + sníh + příčný vítr (tlak)

$$q_{\text{ek}} = 0,097 + 2,6 + 0,170 = 2,87 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{ed}} = 1,35 \cdot 0,097 + 1,50 \cdot 2,6 + 1,50 \cdot 0,170 = 4,29 \text{ kN/m}^2$$

- KZS2: vlastní tíha + vítr (sání)

$$q_{\text{ek}} = 0,097 - 0,738 = -0,64 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{ed}} = 1,35 \cdot 0,097 - 1,50 \cdot 0,738 = -0,98 \text{ kN/m}^2$$

- Posouzení MSÚ:

Zatížení směrem dolů (pozitivní poloha):

$$q_{\text{ed}} = 4,29 \text{ kN/m}^2 < q_{\text{Rd2}} = 4,87 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{OK}$$

Zatížení směrem nahoru (negativní poloha):

$$|q_{\text{ed}}| = 0,98 \text{ kN/m}^2 < q_{\text{Rd2}} = 4,76 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{OK}$$

- Posouzení MSP:

Pokud nebude překročena hodnota q_{Rk} je zaručeno nepřekročení limitního průhybu $L/200$.

Zatížení směrem dolů (pozitivní poloha):

$$q_{ek} = 2,87 \text{ kN/m}^2 < q_{Rk} = 3,51 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{OK}$$

Zatížení směrem nahoru (negativní poloha):

$$|q_{ek}| = 0,64 \text{ kN/m}^2 < q_{Rk} = 4,55 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{OK}$$

Střešní plášť vyhovuje

Z konstrukčních a montážních důvodů je vhodnější navrhnout:

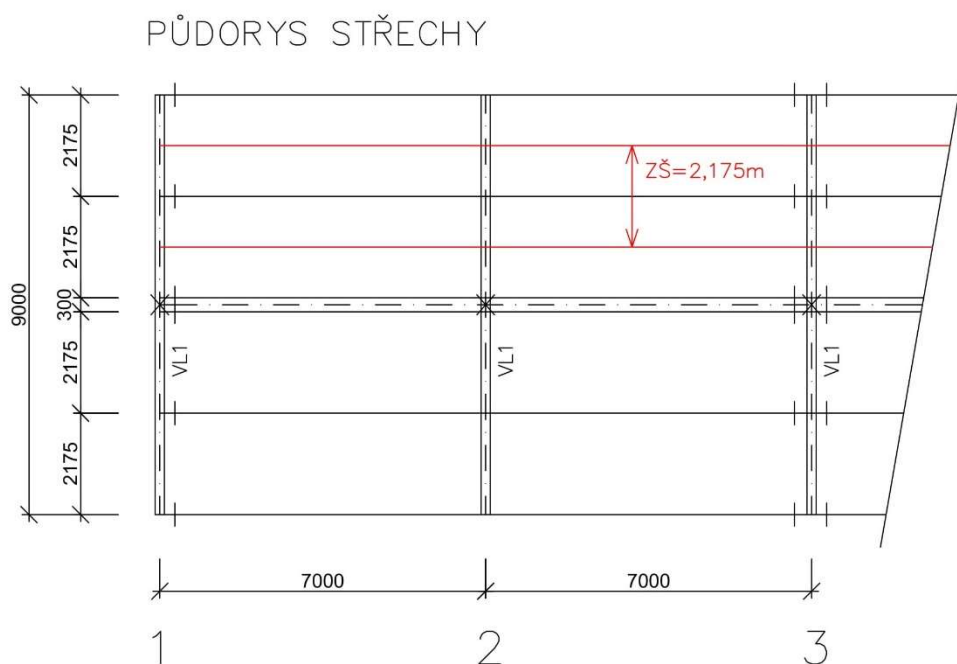
trapezový plech TR 50/260/1,00, spojitý nosník o dvou polích, ocel S320 GD,

vlastní tíha $g_0 = 9,51 \text{ kg/m}^2 = 0,095 \text{ kN/m}^2$. Má zhruba stejnou únosnost a menší vlastní tíhu, než posouzený plech, určitě vyhoví.

4 Vaznice

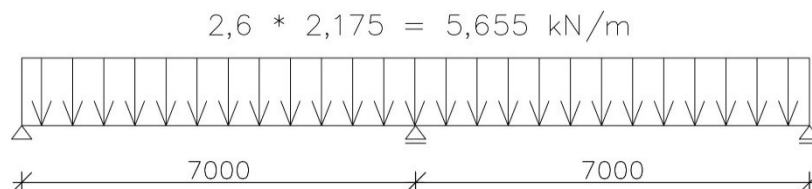
4.1 Zatížení vaznice

Na každé příčné vazbě jsou celkem 6 vaznic a jsou uloženy po 3 na každou konzolu (na každou stranu „vlaštovky“) ve vzdálenosti 2,175 m – viz obrázek na str. 2. Návrh bude proveden pro nejnamáhanější střední vaznici se zatěžovací šířkou (dále jen ZŠ) 2,175 m – viz obrázek dolů. Vaznice jsou válcované spojitě nosníky o 2 polích.



- Zatížení sněhem:

Zatížení střešního pláště sněhem (případ s návějí) můžeme vidět na obrázku na str. 9 a po zjednodušení je rovno $2,6 \text{ kN/m}^2$ (rovnoměrné spojité zatížení). Po vynásobení zatěžovací šířkou dostaneme:

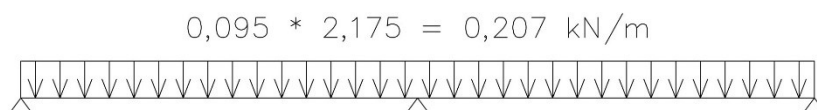


- Vlastní tíha střešního pláště:

Vlastní tíha navrženého trapézového plechu (viz předchozí kapitola) je:

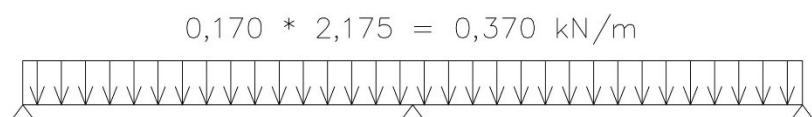
$$g_0 = 0,095 \text{ kN/m}^2.$$

Zatížení vaznice vlastní tíhou plechu je:



- Zatížení větrem:

Stejně jako u trapézového plechu bude rozhodovat kombinace zatěžovacích stavů s tlakem větru (veškeré zatížení působí dolů) nikoliv se sáním. Zatížení pláště tlakem větru je na str. 9. Zase vynásobíme zatěžovací šířkou.



- Vlastní tíha vaznice:

Vlastní tíhu vaznice zatím odhadneme $G = 18,8 \text{ kg/m} = 0,188 \text{ kN/m}$, což odpovídá profilu IPE 180.

4.2 Návrh a posouzení vaznice

- Kombinace zatěžovacích stavů:

$$q_{ek} = 5,655 + 0,207 + 0,370 + 0,188 = 6,420 \text{ kN/m}$$

$$q_{ed} = 1,35 * (0,188 + 0,207) + 1,50 * (5,655 + 0,370) = 9,571 \text{ kN/m}$$

- Návrh vaznice:

Návrh: IPE 180 – spojitá válcovaná vaznice o 2 polích, vlastnosti profilu:

$$G = 18,8 \text{ kg/m} = 0,188 \text{ kN/m}$$

$$I_z = 1009 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} = 166,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_w = 7,43 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$$

$$I_y = 13,17 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

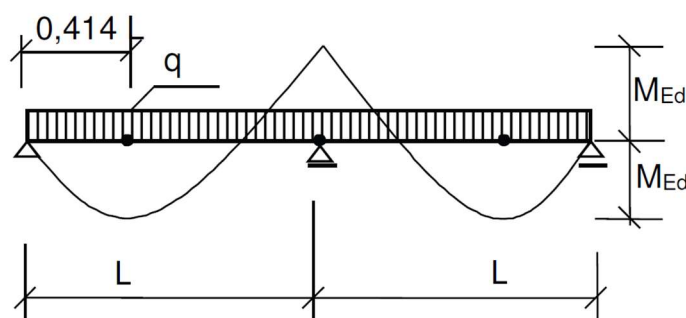
$$I_t = 47,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$\text{Ocel S355} \rightarrow f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

$$E = 210000 \text{ MPa}$$

- Posouzení MSÚ:

Pro posouzení vaznice v MSÚ využijeme plasticitní výpočet pomocí redistribuce momentů na kloubovém mechanismu – viz obrázek dolů.



$$L = 7000 \text{ mm}$$

$$M_{b,rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

Pro oblast v poli (horní pásnice je tlačena) můžeme uvažovat $\chi_{LT} = 1,0$. Předpokládáme, že ke klopení v této oblasti nebude docházet, protože horní pásnice je držena tuhým střešním pláštěm. Rozhodovat ale bude oblast nad podporou (spodní pásnice je tlačena), kde únosnost vaznice je ovlivněna klopením. Pro tento případ se musí spočítat součinitel klopení χ_{LT} . Profil splňuje třídu 1.

$$i_{LT} = \left[\frac{I_z \cdot I_w}{(W_{pl,y})^2} \right]^{\frac{1}{4}} = \left[\frac{1009 \cdot 10^3 \cdot 7,43 \cdot 10^9}{(166,4 \cdot 10^3)^2} \right]^{\frac{1}{4}} = 22,811 \text{ mm}$$

$$a_{LT} = \left(\frac{I_w}{I_t} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{7,43 \cdot 10^9}{47,9 \cdot 10^3} \right)^{\frac{1}{2}} = 393,846 \text{ mm}$$

Podle prof. Greinera platí $\frac{1}{\sqrt{C_1}} = 0,3$.

$$\lambda_{LT} = \left(\frac{1}{C_1} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{L/i_{LT}}{\left[1 + \frac{(L/a_{LT})^2}{25,66} \right]^{\frac{1}{4}}} = 0,3 \cdot \frac{7000/22,811}{\left[1 + \frac{(7000/393,846)^2}{25,66} \right]^{\frac{1}{4}}} = 48,199$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} * \beta^{\frac{1}{2}} = \frac{48,199}{76,4} * 1^{\frac{1}{2}} = 0,631$$

Stanovíme křivku klopení:

válcovaný I průřez $\rightarrow h/b = 180/91 = 1,98 < 2 \rightarrow$ křivka klopení a.

Součinitel klopení χ_{LT} odečteme z tabulky podle poměrné štíhlosti a křivky klopení.

$$\chi_{LT} = 0,878$$

$$M_{b,rd} = \chi_{LT} * W_{pl,y} * f_{yd} = 0,878 * 166,4 * 10^3 * 355 = 51,865 * 10^6 \text{ N.mm} = 51,865 \text{ kN.m}$$

$$M_{ed} = \frac{q_{ed} * L^2}{11,67} = \frac{9,571 * 7^2}{11,67} = 40,187 \text{ kN.m}$$

$$M_{b,rd} = 51,865 \text{ kN.m} > M_{ed} = 40,187 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

- Posouzení MSP:

V MSP budeme posuzovat největší svislý průhyb vaznice. Limitní průhyb stanovuje investor (v daném případě uvažujeme $L/200$, kde L – rozpětí jednoho pole vaznice).

$$\delta = 0,0054 * \frac{q_{ek} * L^4}{E * I_y} = 0,0054 * \frac{6,420 * 7000^4}{210000 * 13,17 * 10^6} = 30,1 \text{ mm} < \frac{L}{200} = \frac{7000}{200} = 35 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

Vaznice vyhovuje

5 Příčná vazba

5.1 Zatížení příčné vazby

Návrh bude proveden pro nejvíce zatíženou příčnou vazbu č. 2, 4, 6 – viz výkres půdorysu střechy. Kvůli průběhu redistribuovaného momentu na vaznicích (viz obrázek výše), uvažujeme konzervativně zatěžovací šířku podle pružných reakcí vaznic tj.:

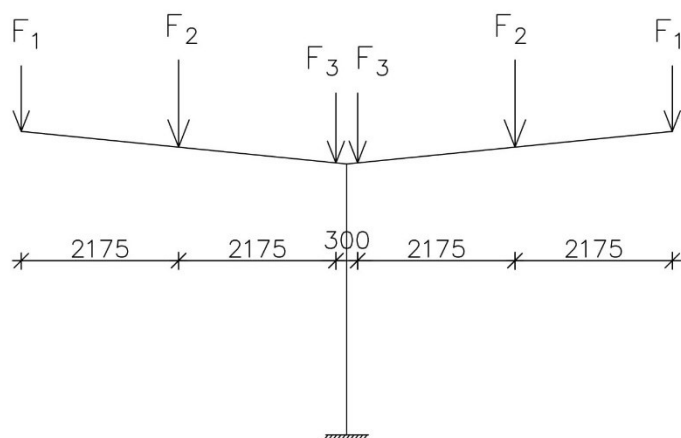
$$Z\bar{S} = 1,25 * 7000 = 8750 \text{ mm.}$$

Spočítáme zatížení osamělými silami (reakcemi) vaznic na jednu stranu příčné vazby (využijeme symetrii konstrukce) postupně od vlastní tíhy konstrukčních prvků, sněhu a větru.

- Zatížení stálé (vlastní tíha střešního pláště a vaznic):

Zatěžovací schéma osamělými silami pro zatěžovací stavy 1 až 5 je zobrazeno na obrázku – viz další stránka.

zatěžovací stavy 1–5



Pozn. Kóty jsou v mm

- Zatěžovací stav 1:

$$F_1 = [0,095 * (\frac{2,175}{2} + 0,1) + 0,188] * 8,75 = 2,632 \text{ kN}$$

$$F_2 = [0,095 * 2,175 + 0,188] * 8,75 = 3,453 \text{ kN}$$

$$F_3 = [0,095 * (\frac{2,175}{2} + 0,15) + 0,188] * 8,75 = 2,674 \text{ kN}$$

- Zatížení sněhem:

Spočítáme osamělé síly působící na příční vazbu pro 4 stavy zatížení sněhem uvedené na str. 4.

- Zatěžovací stav 2:

Levá a pravá strana (2,4 kN/m²):

$$F_1 = 2,4 * (\frac{2,175}{2} + 0,1) * 8,75 = 24,938 \text{ kN}$$

$$F_2 = 2,4 * 2,175 * 8,75 = 45,675 \text{ kN}$$

$$F_3 = 2,4 * (\frac{2,175}{2} + 0,15) * 8,75 = 25,988 \text{ kN}$$

- Zatěžovací stav 3:

Levá strana (1,2 kN/m²):

$$F_1 = 1,2 * (\frac{2,175}{2} + 0,1) * 8,75 = 12,469 \text{ kN}$$

$$F_2 = 1,2 * 2,175 * 8,75 = 22,838 \text{ kN}$$

$$F_3 = 1,2 * (\frac{2,175}{2} + 0,15) * 8,75 = 12,994 \text{ kN}$$

Pravá strana ($2,4 \text{ kN/m}^2$) – stejně jako zatěžovací stav 2.

- Zatěžovací stav 4:

Levá strana ($2,4 \text{ kN/m}^2$) – stejně jako zatěžovací stav 2.

Pravá strana ($1,2 \text{ kN/m}^2$) – stejně jako zatěžovací stav 3 levá strana.

- Zatěžovací stav 5:

Levá a pravá strana (symetrické nerovnoměrné zatížení – viz stav 4 str. 4):

$$F_1 = 2,452 * \left(\frac{2,175}{2} + 0,1 \right) * 8,75 = 25,478 \text{ kN}$$

$$F_2 = 2,598 * 2,175 * 8,75 = 49,443 \text{ kN}$$

$$F_3 = 2,746 * \left(\frac{2,175}{2} + 0,15 \right) * 8,75 = 29,734 \text{ kN}$$

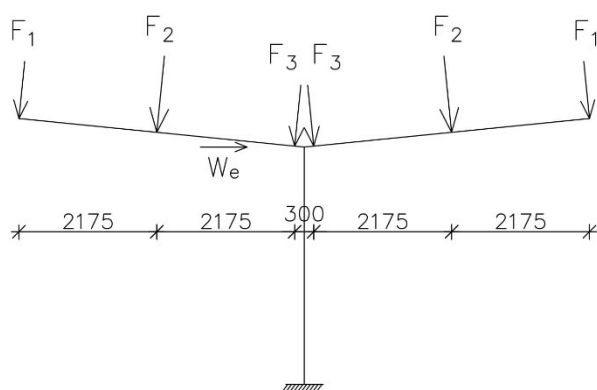
- Zatížení příčným větrem:

Na základě výsledků kapitoly 2.2.1 (str. 5 – 8) spočítáme osamělé síly F_1 až F_3 působící na příčnou vazbu konstrukce od zatížení příčným větrem. Výpočet vodorovné síly W_e je uveden na str. 7.

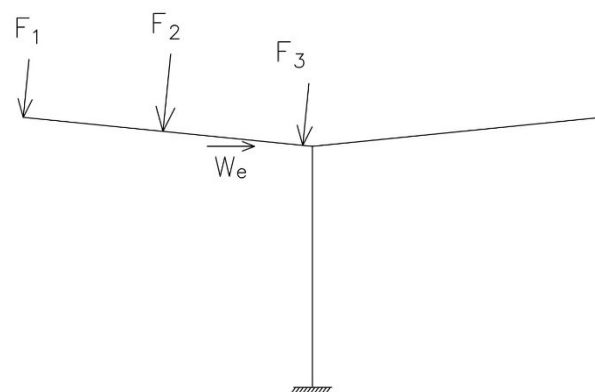
- Zatěžovací stavy 6, 7, 8:

Zatěžovací stavy 6, 7, 8 jsou pro případy tlaku větru (zatěžovací schéma – viz obrázky dolů).

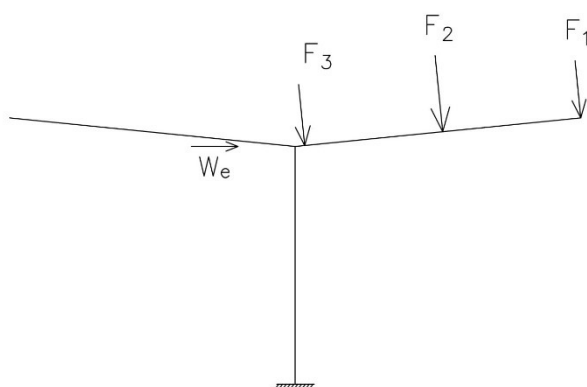
zatěžovací stav 6



zatěžovací stav 7



zatěžovací stav 8



Pozn. Kóty jsou v mm

$$F_1 = 0,170 * \left(\frac{2,175}{2} + 0,1 \right) * 8,75 = 1,771 \text{ kN}$$

$$F_2 = 0,170 * 2,175 * 8,75 = 3,243 \text{ kN}$$

$$F_3 = 0,170 * \left(\frac{2,175}{2} + 0,15 \right) * 8,75 = 1,845 \text{ kN}$$

- Zatěžovací stavy 9, 10, 11:

Zatěžovací stavy 9, 10, 11 jsou pro případy sání větru (zatěžovací schéma stejná jako na výše uvedených obrazcích ale síly působí v opačném směru).

$$F_1 = 0,738 * \left(\frac{2,175}{2} + 0,1 \right) * 8,75 = 7,672 \text{ kN}$$

$$F_2 = 0,738 * 2,175 * 8,75 = 14,053 \text{ kN}$$

$$F_3 = 0,738 * \left(\frac{2,175}{2} + 0,15 \right) * 8,75 = 7,995 \text{ kN}$$

Přehled zatěžovacích stavů příčné vazby je uveden níže.

Jméno	Popis	Typ působení	Skupina zatížení	Směr	Působení	Rídící zat. stav
	Spec	Typ zatížení				
LC0	vlastní tíha příčné vazby	Stálé	LG1	-Z		
		Vlastní tíha				
LC1	vl. tíha plech+vaznice	Stálé	LG1			
		Standard				
LC2	Sníh 1	Proměnné	LG2		Krátkodobé	Žádný
	Standard	Statické				
LC3	Sníh 2	Proměnné	LG2		Krátkodobé	Žádný
	Standard	Statické				
LC4	Sníh 3	Proměnné	LG2		Krátkodobé	Žádný
	Standard	Statické				
LC5	Sníh 4	Proměnné	LG2		Krátkodobé	Žádný
	Standard	Statické				
LC6	Vítr 1	Proměnné	LG2		Krátkodobé	Žádný
	Standard	Statické				
LC7	Vítr 2	Proměnné	LG2		Krátkodobé	Žádný
	Standard	Statické				
LC8	Vítr 3	Proměnné	LG2		Krátkodobé	Žádný
	Standard	Statické				
LC9	Vítr 4	Proměnné	LG2		Krátkodobé	Žádný
	Standard	Statické				
LC10	Vítr 5	Proměnné	LG2		Krátkodobé	Žádný
	Standard	Statické				
LC11	Vítr 6	Proměnné	LG2		Krátkodobé	Žádný
	Standard	Statické				

Tab. Zatěžovací stavy příčné vazby

5.2 Kombinace zatěžovacích stavů

Na základě výše uvedených zatěžovacích stavů byly vytvořeny kombinace, zvláště pro posouzení příčné vazby v mezním stavu únosnosti (dále jen MSÚ) a v mezním stavu použitelnosti (dále jen MSP). Pro kombinace byly použity následující součinitele:

- Dílčí součinitele zatížení:

$$\gamma_G = 1,35 \text{ – pro stálá zatížení}$$

$\gamma_{G,min} = 1,00$ – pro minimální stálá zatížení

$\gamma_Q = 1,50$ – pro proměnná zatížení

- Kombinační součinitele zatížení:

$\Psi_{0,vitr} = 0,60$ – pro zatížení větrem (dle EN 1991-1-4)

$\Psi_{0,snih} = 0,50$ – pro zatížení sněhem (dle EN 1991-1-3, stavba ve výšce $H \leq 1000$ m n. m.)

- Kombinace zatěžovacích stavů pro MSÚ:

Pro posouzení příčné vazby v MSÚ byly použity kombinace 1 až 26 (zahrnují návrhové hodnoty zatížení). Podrobný popis kombinací včetně použitých součinitelů je uveden v tabulce dolů.

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
CO1		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC2 - Snih 1	1,35 1,35 1,50
CO2		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC3 - Snih 2	1,35 1,35 1,50
CO3		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC4 - Snih 3	1,35 1,35 1,50
CO4		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC5 - Snih 4	1,35 1,35 1,50
CO5		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC6 - Vitr 1	1,35 1,35 1,50
CO6		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC7 - Vitr 2	1,35 1,35 1,50
CO7		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC8 - Vitr 3	1,35 1,35 1,50
CO8		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC9 - Vitr 4	1,00 1,00 1,50
CO9		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC10 - Vitr 5	1,00 1,00 1,50
CO10		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC11 - Vitr 6	1,00 1,00 1,50
CO11		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC2 - Snih 1 LC6 - Vitr 1	1,35 1,35 1,50 0,90
CO12		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC2 - Snih 1 LC6 - Vitr 1	1,35 1,35 0,75 1,50
CO13		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC3 - Snih 2 LC6 - Vitr 1	1,35 1,35 1,50 0,90
CO14		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC3 - Snih 2 LC6 - Vitr 1	1,35 1,35 0,75 1,50
CO15		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC4 - Snih 3 LC6 - Vitr 1	1,35 1,35 1,50 0,90
CO16		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC4 - Snih 3 LC6 - Vitr 1	1,35 1,35 0,75 1,50
CO17		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC5 - Snih 4 LC6 - Vitr 1	1,35 1,35 1,50 0,90

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
CO18		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC5 - Snih 4 LC6 - Vitr 1	1,35 1,35 0,75 1,50
CO19		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC2 - Snih 1 LC7 - Vitr 2	1,35 1,35 1,50 1,50
CO20		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC3 - Snih 2 LC7 - Vitr 2	1,35 1,35 1,50 1,50
CO21		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC4 - Snih 3 LC7 - Vitr 2	1,35 1,35 1,50 1,50
CO22		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC5 - Snih 4 LC7 - Vitr 2	1,35 1,35 1,50 1,50
CO23		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC2 - Snih 1 LC8 - Vitr 3	1,35 1,35 1,50 1,50
CO24		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC3 - Snih 2 LC8 - Vitr 3	1,35 1,35 1,50 1,50
CO25		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC4 - Snih 3 LC8 - Vitr 3	1,35 1,35 1,50 1,50
CO26		Lineární - únosnost	LC0 - vlastní tíha příčné vazby LC1 - vl. tíha plech+vaznice LC5 - Snih 4 LC8 - Vitr 3	1,35 1,35 1,50 1,50

Tab. Kombinace zatěžovacích stavů pro MSÚ

- Kombinace zatěžovacích stavů pro MSP:

Pro posouzení příčné vazby v MSP byly použity kombinace 27 až 52. Tyto kombinace zahrnují pouze charakteristické hodnoty zatížení sněhem a větrem. Vlastní tíha nosných prvků konstrukce (příčné vazby, vaznic a pláště) se neuvažuje. Podrobný popis kombinací včetně použitých součinitelů je uveden v tabulce dolů.

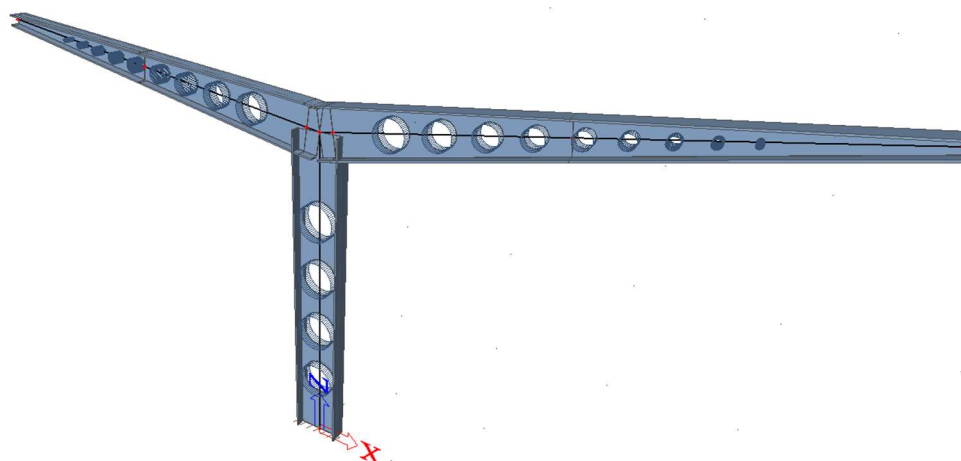
Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
C027		Lineární - únosnost	LC2 - Sníh 1	1,00
C028		Lineární - únosnost	LC3 - Sníh 2	1,00
C029		Lineární - únosnost	LC4 - Sníh 3	1,00
C030		Lineární - únosnost	LC5 - Sníh 4	1,00
C031		Lineární - únosnost	LC6 - Vitr 1	1,00
C032		Lineární - únosnost	LC7 - Vitr 2	1,00
C033		Lineární - únosnost	LC8 - Vitr 3	1,00
C034		Lineární - únosnost	LC9 - Vitr 4	1,00
C035		Lineární - únosnost	LC10 - Vitr 5	1,00
C036		Lineární - únosnost	LC11 - Vitr 6	1,00
C037		Lineární - únosnost	LC2 - Sníh 1	1,00
			LC6 - Vitr 1	0,60
C038		Lineární - únosnost	LC2 - Sníh 1	0,50
			LC6 - Vitr 1	1,00
C039		Lineární - únosnost	LC3 - Sníh 2	1,00
			LC6 - Vitr 1	0,60
C040		Lineární - únosnost	LC3 - Sníh 2	0,50
			LC6 - Vitr 1	1,00
C041		Lineární - únosnost	LC4 - Sníh 3	1,00
			LC6 - Vitr 1	0,60
C042		Lineární - únosnost	LC4 - Sníh 3	0,50
			LC6 - Vitr 1	1,00
C043		Lineární - únosnost	LC5 - Sníh 4	1,00
			LC6 - Vitr 1	0,60
C044		Lineární - únosnost	LC5 - Sníh 4	0,50
			LC6 - Vitr 1	1,00
C045		Lineární - únosnost	LC2 - Sníh 1	1,00
			LC7 - Vitr 2	1,00
C046		Lineární - únosnost	LC3 - Sníh 2	1,00
			LC7 - Vitr 2	1,00
C047		Lineární - únosnost	LC4 - Sníh 3	1,00

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
			LC7 - Vitr 2	1,00
C048		Lineární - únosnost	LC5 - Sníh 4	1,00
			LC7 - Vitr 2	1,00
C049		Lineární - únosnost	LC2 - Sníh 1	1,00
			LC8 - Vitr 3	1,00
C050		Lineární - únosnost	LC3 - Sníh 2	1,00
			LC8 - Vitr 3	1,00
C051		Lineární - únosnost	LC4 - Sníh 3	1,00
			LC8 - Vitr 3	1,00
C052		Lineární - únosnost	LC5 - Sníh 4	1,00
			LC8 - Vitr 3	1,00

Tab. Kombinace zatěžovacích stavů pro MSP

5.3 Vnitřní síly příčné vazby

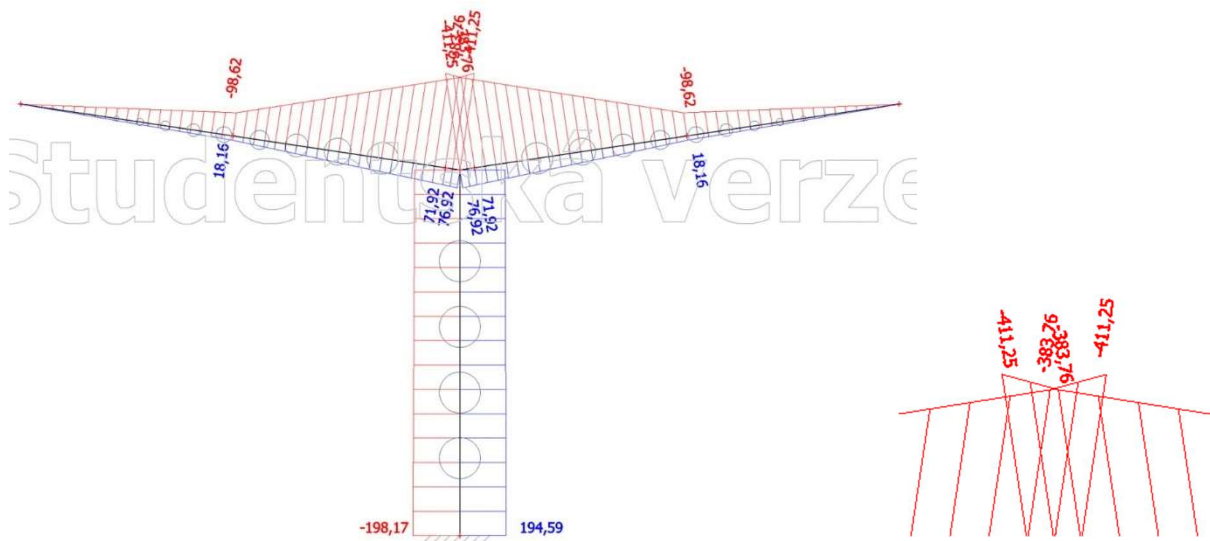
Výpočet vnitřních sil příčné vazby byl proveden v programu SCIA Engineer. Model konstrukce uvažuje proměnnost průřezu konzol a přítomnost otvorů ve stojinách konzol a sloupu. I když tato skutečnost nemá žádný vliv na průběh vnitřních sil, výrazně ovlivňuje svislý průhyb – viz kapitola „Mezní stav použitelnosti“.



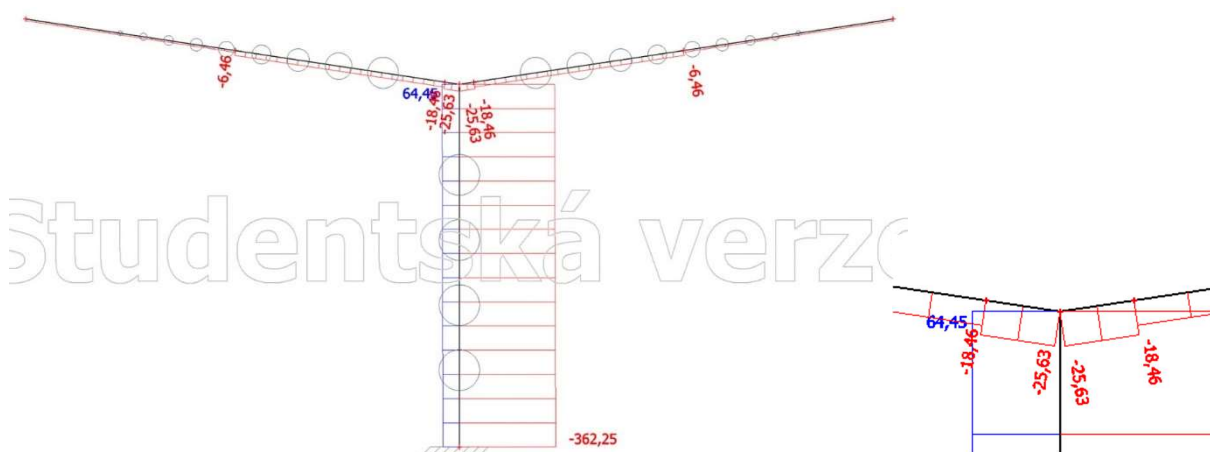
Obr.
Axonometrický
pohled na
příčnou vazbu

Při posouzení příčné vazby v MSÚ využijeme návrhové vnitřní síly v kritických průřezích. Proto byly spočítány obálky vnitřních sil na základě kombinací zatěžovacích stavů 1 až 26.

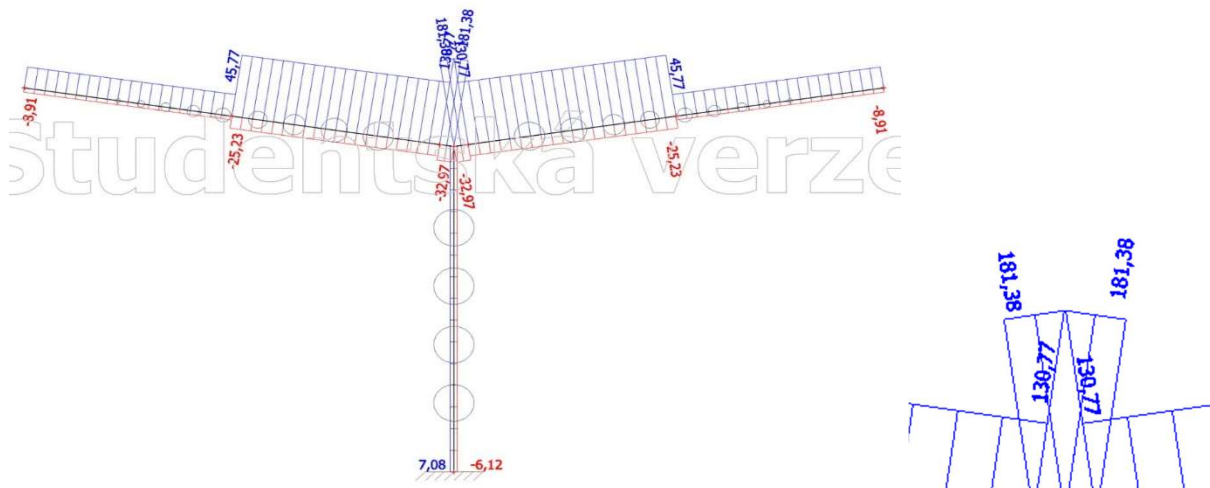
- Obálka ohybových momentů [kN.m]:



- Obálka normálových sil [kN]:



- Obálka posouvajících sil [kN]:



5.4 Posouzení příčné vazby

5.4.1 Mezní stav únosnosti

V mezním stavu únosnosti posoudíme příčnou vazbu na kombinaci ohybu a osového tlaku. Uvažujeme vliv klopení nosníku. Výpočet provedeme zvlášť pro konzolovou část „vlaštovky“ (pouze pro jednu stranu – konstrukce je symetrická) a pro sloup. Nosníky jsou svařované z plechů. Posuzujeme kritické průřezy, kde návrhový ohybový moment a normálová síla jsou největší. U konzoly to je průřez v místě styku se sloupem. U sloupu je průřez v těsné blízkosti patky. Posudky následujících interakcí momentů a normálových sil jsou provedeny pro plný průřez (bez otvorů). Detailní posudky průřezů s otvory jsou vypracovány v kapitole „Detailní posouzení nosníků v místě otvoru“.

5.4.1.1 Konzola

Návrh: svařovaná konzola tvaru I, profil z plechů P500 – 100x8/P200x16.

Průřez konzoly je proměnný, výška stojiny se rovnoměrně mění od 100 mm u volného kraje konzoly do 500 mm v místě styku se sloupem. Vzhledem k tomu, že největší hodnoty vnitřních sil se objevují ve styčnicku konzol a sloupu, budeme posuzovat průřez P500x8/P200x16.

Profil má následující průřezové charakteristiky:

$$A = 10400 \text{ mm}^2$$

$$W_{pl,y} = 2,151 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$i_z = 45 \text{ mm}$$

$$\text{ocel S355} \rightarrow f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Provedeme zatřídění průřezu:

- Pásnice:

$$\frac{c}{t_f} = \frac{96}{16} = 6 \leq 9\varepsilon = 7,29 \rightarrow 1. \text{ třída}$$

- Stojina:

$$\frac{d}{t_w} = \frac{500}{8} = 62,5 \leq 83\varepsilon = 67,23 \rightarrow 2. \text{ třída}$$

Na základě obálek vnitřních sil (viz str. 21) uvažujeme v daném průřezu:

$$M_{y,ed} = 411,25 \text{ kN.m}, N_{ed} = 25,63 \text{ kN (tlak)}.$$

Spočítáme kritický moment M_{cr} v programu LTBeamN. Do softwaru zadáme geometrii nosníku, zatížení a okrajové podmínky. Okrajové podmínky prutu (obecně) k řešení klopení jsou uvedeny následovně:

- V – příčné podepření,
- θ – podepření v kroucení,
- V' – příčné natočení průřezu,
- θ' – deplanace průřezu.

V závislosti na podmínkách můžou být fixed (pevné), free (volné) nebo spring (pérové).

Pro náš případ platí:

- Průřez č.1 (místo napojení na sloup) – P500x8/P200x16

V – fixed

θ – fixed

V' – free

θ' – free

- Průřez č.2 (volný konec) – P100x8/P200x16

V – fixed

θ – free

V' – free

θ' – free

- Mezilehlý průřez (místo uložení střední vaznice)

V – fixed

θ – free

V' – free

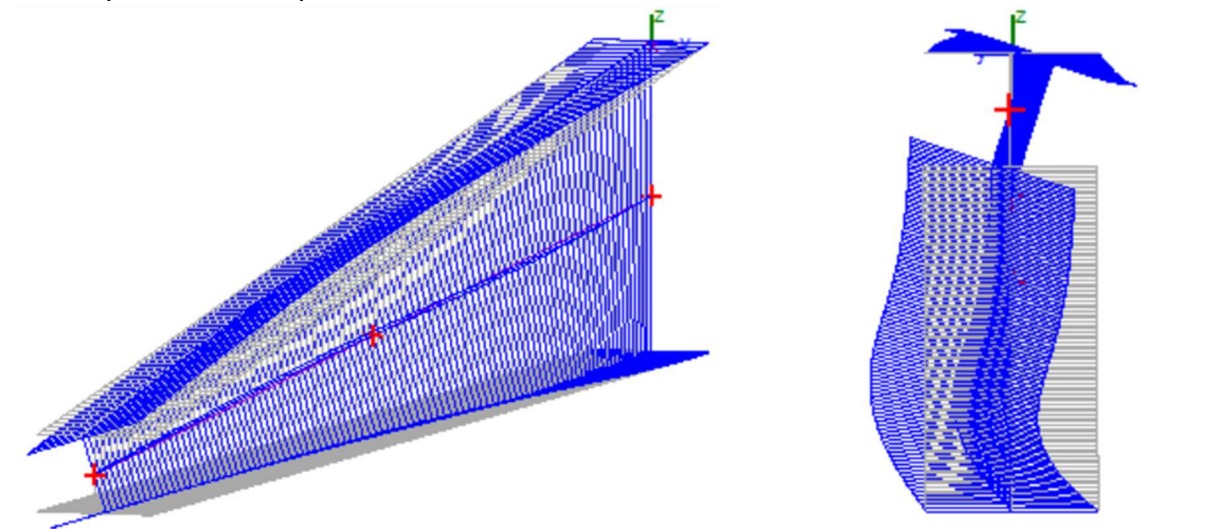
θ' – free

Zatížení je zadáno vnitřními silami (průběhem obálek ohybového momentu a normálové síly na konzole). Průřez se uvažuje jako plný, bez otvorů, proměnného průřezu.

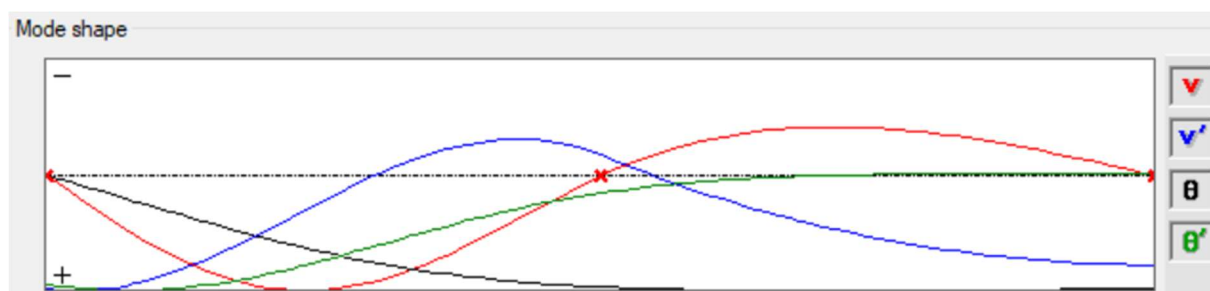
Po výpočtu softwarem dostaneme následující hodnotu kritického momentu odpovídající 1. vlastnímu tvaru:

$$M_{cr} = 2529,2 \text{ kN.m}.$$

Na obrázcích níže můžeme vidět původní tvar (šedá barva) a deformovaný tvar konzoly při klopení v 1. vlastním tvaru (modrá barva). Obrázek vpravo zobrazuje pohled ze strany sloupu na volný konec konzoly.



Další obrázek ukazuje, jak se mění deformační veličiny po délce konzoly při klopení (vlevo napojení na sloup, vpravo volný konec).



Stanovíme součinitel klopení χ_{LT} :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,151 * 10^6 * 355}{2529,2 * 10^6}} = 0,549$$

$$\frac{h}{b} = \frac{532}{200} = 2,66 \rightarrow \text{svařované I průřezy} \rightarrow \frac{h}{b} = 2,66 > 2 \rightarrow \text{křivka klopení d}$$

Podle tabulky součinitelů klopení dostaneme:

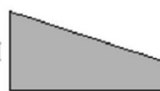
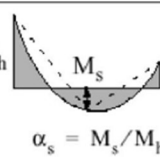
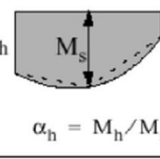
$$\chi_{LT} = 0,744.$$

$$N_{Rk} = f_y * A = 355 * 10400 = 3692 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_y * W_{pl,y} = 355 * 2,151 * 10^6 = 763,605 \text{ kN.m}$$

Podle tabulky B.3 normy ČSN EN 1993-1-1 (viz další stránka) určíme součinitele ekvivalentního konstantního momentu C_{my} a C_{mLT} .

Zajímá nás pouze první řádek (na základě průběhu obálky ohybového momentu na konzole).

Průběh momentu	Rozsah		C_{my} a C_{mz} a C_{mLT}	
			rovnorné zatížení	soustředěné zatížení
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h(1+2\psi)$	$0,90 + 0,10\alpha_h(1+2\psi)$
Součinitel ekvivalentního konstantního momentu při vybočení s posuvem styčnic se má uvažovat $C_{my} = 0,9$ nebo $C_{mz} = 0,9$.				
C_{my} , C_{mz} a C_{mLT} se mají stanovit v závislosti na průběhu momentu mezi příslušnými body podepření následovně:				
Součinitel:	osa ohybu:	body podepřené ve směru:		
C_{my}	y-y	z-z		
C_{mz}	z-z	y-y		
C_{mLT}	y-y	y-y		

- Součinitel C_{my} :

$\Psi = 0$ – uvažuje se celá délka konzoly

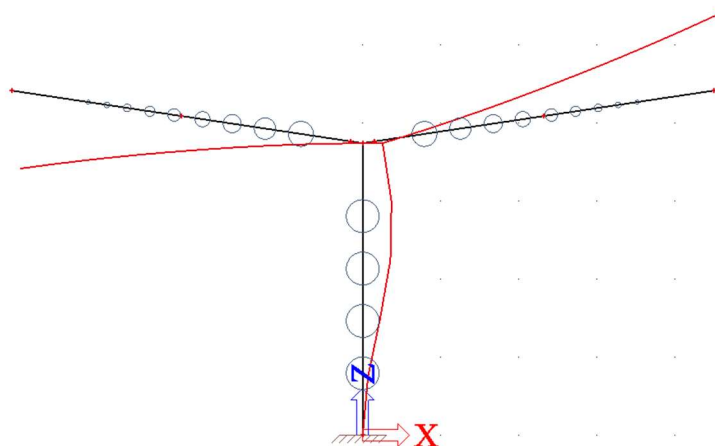
$$C_{my} = 0,6 + 0,4\Psi = 0,6$$

- Součinitel C_{mLT} :

$\Psi = 0,24$ – uvažuje se úsek mezi sloupem a střední vaznicí

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4\Psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,24 = 0,7$$

Pro stanovení součinitele vzpěrnosti χ_y určíme příslušnou poměrnou štíhlost $\bar{\lambda}_y$. Nejpřesněji ji spočítáme z kritického zatížení $N_{cr,i}$ po výpočtu $\alpha_{cr,i}$. Jako rozhodující kombinace zatěžovacích



stavu pro výpočet stability nosníku byla vybrána kombinace č. 17 (které odpovídají extrémní hodnoty normálových sil v posuzovaných průřezích sloupu a konzol). Pro případ konzoly použijeme součinitel $\alpha_{cr,2}$ (2. vlastní tvar), odpovídající vybočení daného prutu. Výpočet byl proveden v programu SCIA Engineer, tvar vybočení ve 2. vlastním tvaru – viz obrázek vlevo.

Po výpočtu softwarem dostaneme:

$$\alpha_{cr,2} = 288,33.$$

$$N_{cr,2} = \alpha_{cr,2} * N_{ed} = 288,33 * 25,63 = 7389,898 \text{ kN}$$

Vzhledem k tomu, že průřez konzoly je proměnný, plocha průřezu A pro daný výpočet se uvažuje jako průměrná hodnota (liší se od posuzovaného průřezu a odpovídá průřezu uprostřed nosníku). Vzpěr je prutová charakteristika, nikoliv průřezová.

$$A = 8800 \text{ mm}^2$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{8800 * 355}{7389,898 * 10^3}} = 0,650$$

svařované průřezy $\rightarrow t_f = 16 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm} \rightarrow$ vybočení kolmo k ose $y - y \rightarrow$ ocel S355 \rightarrow
 \rightarrow křivka vzpěrné pevnosti b

Podle tabulky vzpěrnostních součinitelů dostaneme:

$$\chi_y = 0,811.$$

Stanovíme součinitel vzpěrnosti χ_z :

$$L_{cr,z} = 2175 \text{ mm} - \text{odpovídá vzdálenosti vaznic.}$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,81 = 76,059$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z * \lambda_1} = \frac{2175}{45 * 76,059} = 0,635$$

svařované průřezy $\rightarrow t_f = 16 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm} \rightarrow$ vybočení kolmo k ose $z - z \rightarrow$ ocel S355 \rightarrow
 \rightarrow křivka vzpěrné pevnosti c

Podle tabulky vzpěrnostních součinitelů dostaneme:

$$\chi_z = 0,764.$$

Vypočítáme součinitele interakce k_{yy} a k_{zy} :

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{my} * \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{ed}}{\chi_y * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \\ C_{my} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{ed}}{\chi_y * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \end{array} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 0,6 * \left(1 + (0,650 - 0,2) * \frac{25,63}{0,811 * 3692 / 1,0} \right) \\ 0,6 * \left(1 + 0,8 * \frac{25,63}{0,811 * 3692 / 1,0} \right) \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,602 \\ 0,604 \end{array} \right\} = 0,602$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,635$$

Pro $\bar{\lambda}_z \geq 0,4$ platí:

$$K_{zy} = \max \left\{ 1 - \frac{0,1 * \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} * \frac{N_{ed}}{\chi_z * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right. \\ \left. 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} * \frac{N_{ed}}{\chi_z * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right\} =$$

$$= \max \left\{ 1 - \frac{0,1 * 0,635}{(0,7 - 0,25)} * \frac{25,63}{0,764 * 369 / 1,0} \right. \\ \left. 1 - \frac{0,1}{(0,7 - 0,25)} * \frac{25,63}{0,764 * 369 / 1,0} \right\} = \max \left\{ 0,999 \right. \\ \left. 0,998 \right\} = 0,999$$

Pruty namáhané kombinací ohybu a osového tlaku mají splňovat podmínky:

$$\frac{N_{ed}}{\chi_y * N_{Rk}} + k_{yy} * \frac{M_{y,ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rk}} = \frac{25,63}{0,811 * 3692} + 0,602 * \frac{411,25}{0,744 * 763,605} =$$

$$= 0,0086 + 0,602 * 0,724 = 0,444 < 1,0 \rightarrow \text{OK}$$

(Využití 44,4 %)

$$\frac{N_{ed}}{\chi_z * N_{Rk}} + k_{zy} * \frac{M_{y,ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rk}} = \frac{25,63}{0,764 * 3692} + 0,999 * \frac{411,25}{0,744 * 763,605} =$$

$$= 0,009 + 0,999 * 0,724 = 0,732 < 1,0 \rightarrow \text{OK}$$

(Využití 73,2 %)

Konzola vyhovuje v MSÚ

Na základě provedeného výpočtu je vidět, že konzola má dostatečnou rezervu. Tato rezerva zcela pokryje zvětšení využití v případě uvažování průřezu oslabeného otvorem.

5.4.1.2 Sloup

Návrh: svařovaný sloup tvaru I, profil z plechů P500x8/P200x16.

Průřez sloupu je konstantní. Největší hodnoty vnitřních sil se objevují v těsné blízkosti patky sloupu. Posoudíme průřez v tomto místě.

Profil má následující průřezové charakteristiky:

$$A = 10400 \text{ mm}^2$$

$$W_{pl,y} = 2,151 * 10^6 \text{ mm}^3$$

$$i_z = 45 \text{ mm}$$

$$\text{ocel S355} \rightarrow f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$E = 210000 \text{ MPa}$$

$$I_y = 5,095 * 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Provedeme zatřídění průřezu:

- Pásnice:

$$\frac{c}{t_f} = \frac{96}{16} = 6 \leq 9\varepsilon = 7,29 \rightarrow 1. \text{ třída}$$

- Stojina:

$$\frac{d}{t_w} = \frac{500}{8} = 62,5 \leq 83\varepsilon = 67,23 \rightarrow 2. \text{ třída}$$

Na základě obálek vnitřních sil (viz str. 21) uvažujeme v daném průřezu:

$$M_{y,ed} = 198,17 \text{ kN.m}, N_{ed} = 362,25 \text{ kN (tlak)}.$$

Spočítáme kritický moment M_{cr} v programu LTBeamN. Okrajové podmínky pro případ sloupu:

- Průřez č.1 (těsně vedle patky) – P500x8/P200x16

V – fixed

θ – fixed

V' – fixed

θ' – fixed

- Průřez č.2 (místo styku s konzolami) – P500x8/P200x16

V – fixed

θ – fixed

V' – free

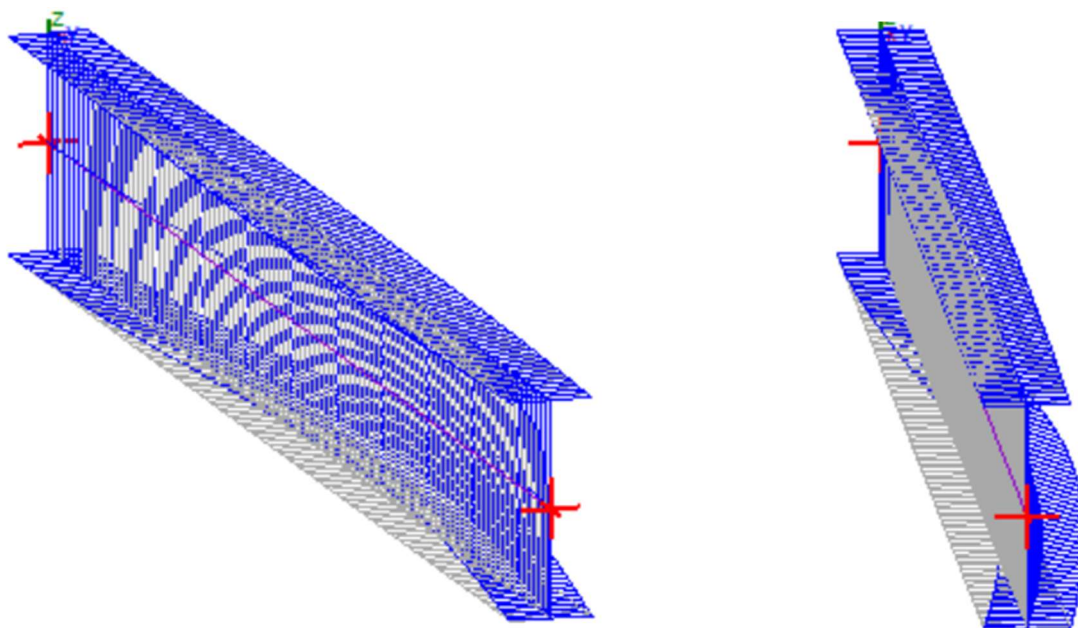
θ' – free

Zatížení je zadáno vnitřními silami (průběhem obálky ohybového momentu a odpovídajícím průběhem normálové síly, který se vyskytuje ve stejné kombinaci). Průřez se uvažuje jako plný, bez otvorů, konstantního průřezu.

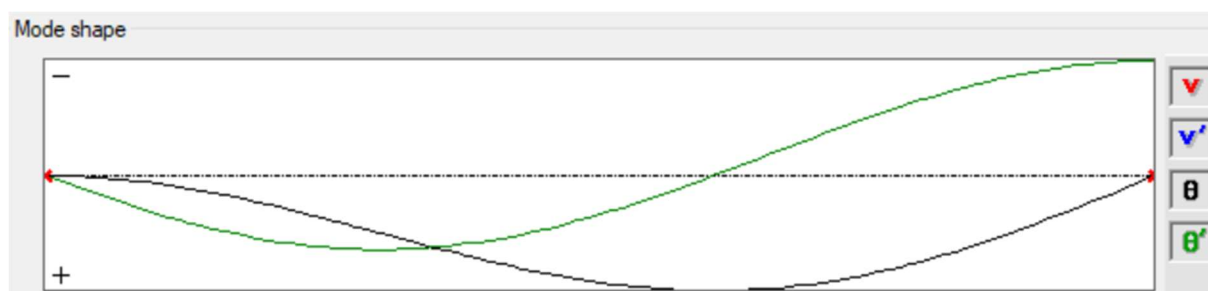
Po výpočtu softwarem dostaneme následující hodnotu kritického momentu odpovídající 1. vlastnímu tvaru:

$$M_{cr} = 1345,6 \text{ kN.m.}$$

Na obrazcích na další stránce je zobrazen původní tvar (šedá barva) a deformovaný tvar sloupu při klopení v 1. vlastním tvaru (modrá barva). Průřez bližší k nám je styčník konzol a sloupu, vzdálenější průřez je místo kotvení sloupu.



Další obrázek ukazuje, jak se mění deformační veličiny po délce sloupu při klopení (vlevo místo kotvení sloupu, vpravo styčník). V a θ , V' a θ' se splývají do jedné křivky.



Stanovíme součinitel klopení χ_{LT} :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,151 * 10^6 * 355}{1345,6 * 10^6}} = 0,753$$

$$\frac{h}{b} = \frac{532}{200} = 2,66 \rightarrow \text{svařované I průřezy} \rightarrow \frac{h}{b} = 2,66 > 2 \rightarrow \text{křivka klopení d}$$

Podle tabulky součinitelů klopení dostaneme:

$$\chi_{LT} = 0,609.$$

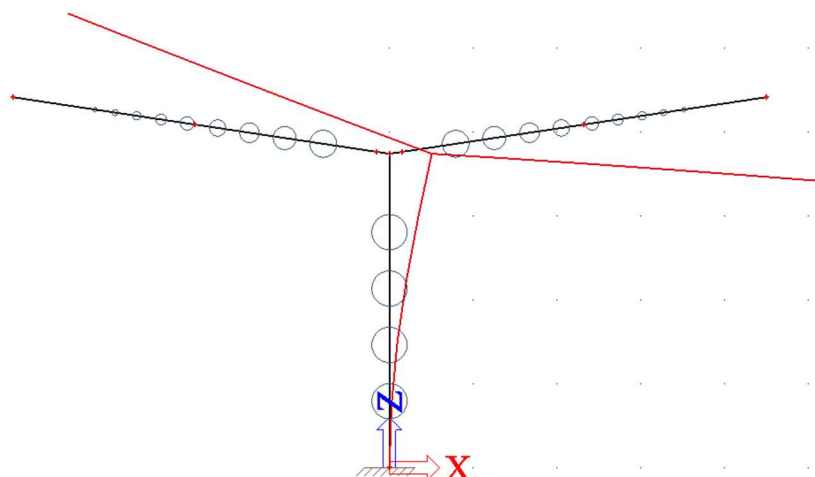
$$N_{Rk} = f_y * A = 355 * 10400 = 3692 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_y * W_{pl,y} = 355 * 2,151 * 10^6 = 763,605 \text{ kN.m}$$

Podle tabulky B.3 normy ČSN EN 1993-1-1 (viz str. 25) určíme součinitele ekvivalentního konstantního momentu C_{my} a C_{mLT} . Průběh obálky ohybového momentu přibližně uvažujeme konstantní (to znamená pro oba součinitele platí $\Psi = 1,0$).

$$C_{my} = 0,6 + 0,4\Psi = 0,6 + 0,4 * 1,0 = 1,0$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4\Psi = 0,6 + 0,4 * 1,0 = 1,0$$



Stanovíme součinitel vzpěrnosti χ_y . Zase ho spočítáme pomocí kritického zatížení $N_{cr,i}$ po výpočtu $\alpha_{cr,i}$. Kombinace zatěžovacích stavů pro výpočet stability je znova kombinace č. 17 (podrobný popis kombinace – viz str. 19). Pro případ sloupu použijeme součinitel $\alpha_{cr,1}$

(1. vlastní tvar), odpovídající vybočení daného prutu. Výpočet byl proveden v programu SCIA Engineer, tvar vybočení v 1. vlastním tvaru – viz obrázek vlevo.

Po výpočtu softwarem dostaneme:

$$\alpha_{cr,1} = 42,55.$$

$$N_{cr,1} = \alpha_{cr,1} * N_{ed} = 42,55 * 362,25 = 15413,738 \text{ kN}$$

Pro informaci spočítáme vzpěrnou délku sloupu:

$$L_{cr,1} = \sqrt{\frac{\pi^2 EI}{N_{cr,1}}} = \sqrt{\frac{\pi^2 * 210000 * 5,095 * 10^8}{15413,738 * 10^3}} = 8277 \text{ mm} - (\text{vychází větší než dvojnásobek výšky sloupu, kde } h_{sloup} = 3744 \text{ mm}).$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,1}}} = \sqrt{\frac{10400 * 355}{15413,738 * 10^3}} = 0,489$$

svařované průřezy $\rightarrow t_f = 16 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm} \rightarrow$ vybočení kolmo k ose y – y \rightarrow ocel S355 \rightarrow \rightarrow křivka vzpěrné pevnosti b

Podle tabulky vzpěrnostních součinitelů dostaneme:

$$\chi_y = 0,889.$$

Stanovíme součinitel vzpěrnosti χ_z :

$$L_{cr,z} = 0,7 * h_{sloup} = 0,7 * 3744 = 2620,8 \text{ mm (horní konec sloupu je držen podélnou trubkou)}$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \epsilon = 93,9 * 0,81 = 76,059$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z * \lambda_1} = \frac{2620,8}{45 * 76,059} = 0,766$$

svařované průřezy $\rightarrow t_f = 16 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm} \rightarrow$ vybočení kolmo k ose $z - z \rightarrow$ ocel S355 \rightarrow
 \rightarrow křivka vzpěrné pevnosti c

Podle tabulky vzpěrnostních součinitelů dostaneme:

$$\chi_z = 0,683.$$

Vypočítáme součinitele interakce k_{yy} a k_{zy} :

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} c_{my} * \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{ed}}{\chi_y * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \\ c_{my} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{ed}}{\chi_y * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \end{array} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 1,0 * \left(1 + (0,489 - 0,2) * \frac{362,25}{0,889 * 3692 / 1,0} \right) \\ 1,0 * \left(1 + 0,8 * \frac{362,25}{0,889 * 3692 / 1,0} \right) \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,032 \\ 1,088 \end{array} \right\} = 1,032$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,766$$

Pro $\bar{\lambda}_z \geq 0,4$ platí:

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} * \frac{N_{ed}}{\chi_z * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} * \frac{N_{ed}}{\chi_z * N_{Rk} / \gamma_{M1}} \end{array} \right\} =$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * 0,766}{(1,0 - 0,25)} * \frac{362,25}{0,683 * 3692 / 1,0} \\ 1 - \frac{0,1}{(1,0 - 0,25)} * \frac{362,25}{0,683 * 3692 / 1,0} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,985 \\ 0,981 \end{array} \right\} = 0,985$$

Pruty namáhané kombinací ohybu a osového tlaku mají splňovat podmínky:

$$\frac{N_{ed}}{\chi_y * N_{Rk}} + k_{yy} * \frac{M_{y,ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rk}} = \frac{362,25}{0,889 * 3692} + 1,032 * \frac{198,17}{0,609 * 763,605} =$$

$$= 0,110 + 1,032 * 0,426 = 0,550 < 1,0 \rightarrow \text{OK}$$

(Využití 55,0 %)

$$\frac{N_{ed}}{\chi_z * N_{Rk}} + k_{zy} * \frac{M_{y,ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rk}} = \frac{362,25}{0,683 * 3692} + 0,985 * \frac{198,17}{0,609 * 763,605} =$$

$$= 0,144 + 0,985 * 0,426 = 0,563 < 1,0 \rightarrow \text{OK}$$

(Využití 56,3 %)

Sloup vyhovuje v MSÚ

Na základě provedeného výpočtu je vidět, že sloup má dostatečnou rezervu. Tato rezerva zcela pokryje (stejným způsobem jako u konzoly) zvětšení využití v případě uvažování průřezu oslabeného otvorem.

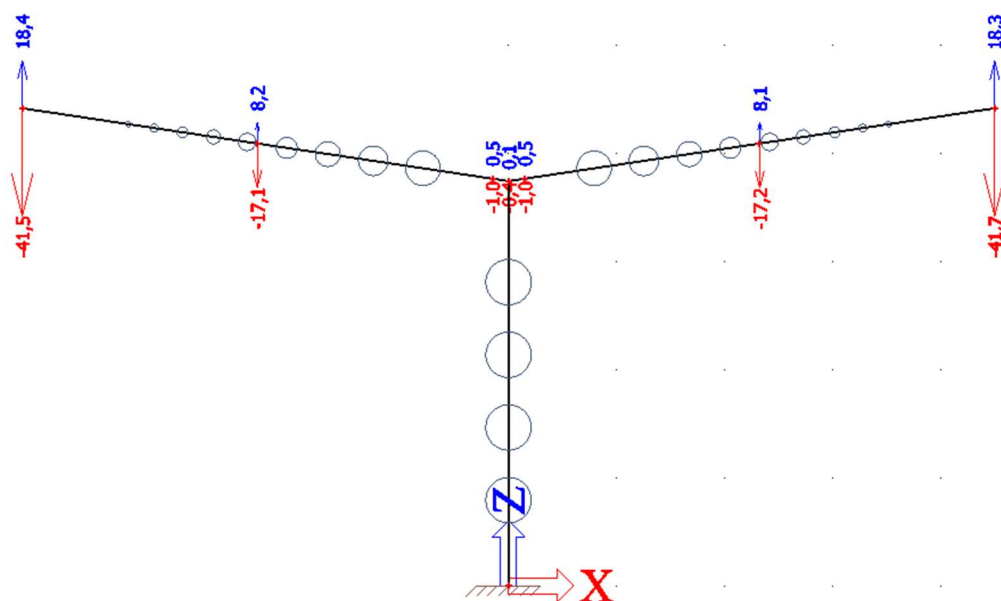
5.4.2 Mezní stav použitelnosti

Posoudíme příčnou vazbu v MSP na základě svislého průhybu konzol. Výpočet průhybu provedeme v programu SCIA Engineer. Model příčné vazby uvažuje proměnnost průřezu a otvory ve stojinách. Pro výpočet jsou použity kombinace zatěžovacích stavu 27 až 52 (přehled viz str. 20), které zahrnují pouze charakteristické zatížení sněhem a větrem (vlastní tíha nosných prvků se neuvažuje). Investor vyžaduje, aby největší svislý průhyb konzol nepřekročil mezní hodnotu $\frac{L}{200}$, kde L je dvojnásobek délky konzoly.

$$L = 4500 * 2 = 9000 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{lim}} = \frac{L}{200} = \frac{9000}{200} = 45 \text{ mm}$$

Po výpočtu softwarem dostali jsme následující maximální hodnoty svislého průhybu od výše uvedených kombinací – viz obrázek dolů.



Největší svislý průhyb se vyskytuje na konci konzoly, $\delta = 41,7 \text{ mm}$.

Porovnáme maximální možný a limitní průhyb:

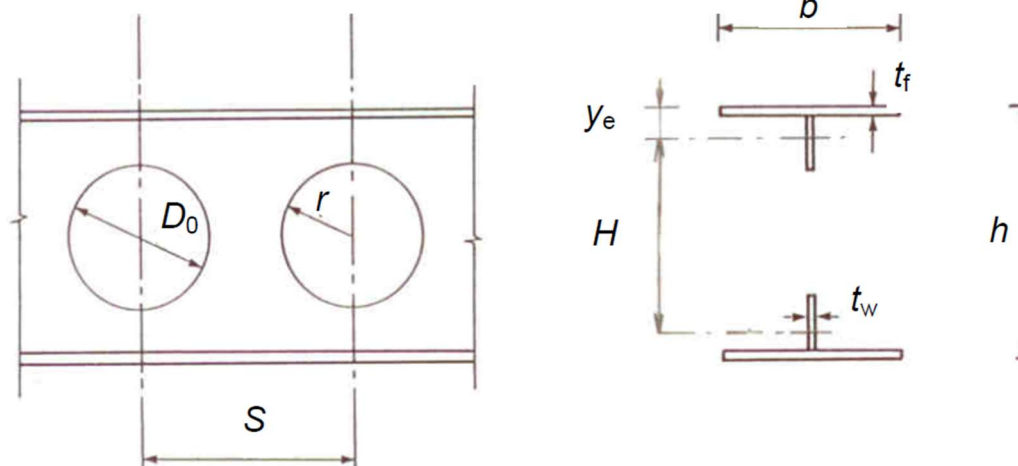
$$\delta = 41,7 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = 45 \text{ mm} \rightarrow \text{OK.}$$

Příčná vazba vyhovuje v MSP

6 Detailní posouzení nosníků v místě otvorů

(VLIV OSLABENÍ OTVORY)

V dalších kapitolách provedeme podrobné posouzení průřezů nosníků v místě otvorů. Výpočet se vypracuje vždycky pro kritický průřez (v místě největších vnitřních sil) konzoly a sloupu zvlášť. Na obrázku dolů je zobrazeno označení rozměrů průřezu oslabeného otvorem, které platí pro následující posudky.



6.1 Plastická únosnost

Musí být splněna podmínka:

$$M_{Ed} \leq M_{pl,Rd} = A_T H f_{yd}, \text{ kde:}$$

A_T – plocha jednoho pásu T,

H – vzdálenost těžišť pásů tvaru T v nejméně oslabeném místě,

f_{yd} – návrhová pevnost oceli (pro ocel S355 $f_{yd} = f_y = 355$ MPa).

- Konzola:

U konzoly se uvažuje nejbližší k místu napojení na sloup – největší otvor.

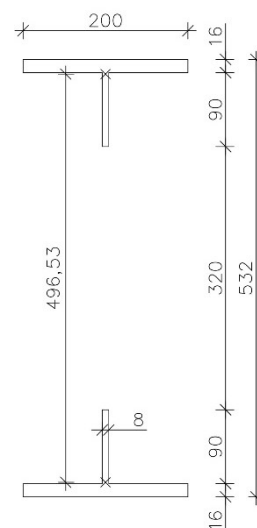
$$A_T = 3920 \text{ mm}^2$$

$M_{Ed} = 411,25 \text{ kN.m}$ (maximální hodnota na konzole dle obálky ohybových momentů – viz str. 21)

$H = 496,53 \text{ mm}$ (podle obrázku vpravo)

Poloha těžišť byla stanovena v programu AutoCAD.

Obr. Posuzovaný průřez konzoly v nejméně oslabeném místě [mm]



$$M_{pl,Rd} = 3920 \cdot 496,53 \cdot 355 = 690971148 \text{ N.mm} = 690,971 \text{ kN.m}$$

$$M_{Ed} = 411,25 \text{ kN.m} < M_{pl,Rd} = 690,971 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

- Sloup:

$$A_T = 3520 \text{ mm}^2$$

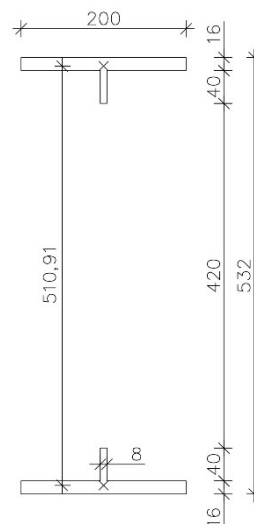
$$M_{Ed} = 198,17 \text{ kN.m}$$

$$H = 510,91 \text{ mm (podle obrázku vpravo)}$$

Poloha těžišť byla stanovena v programu AutoCAD.

$$M_{pl,Rd} = 3520 \cdot 510,91 \cdot 355 = 638433136 \text{ N.mm} = 638,433 \text{ kN.m}$$

$$M_{Ed} = 198,17 \text{ kN.m} < M_{pl,Rd} = 638,433 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$



Obr. Posuzovaný průřez sloupu v
nejvíce oslabeném místě [mm]

Plastická únosnost nosníků vyhovuje

6.2 Únosnost ve smyku

Nosníky posoudíme na vertikální a vodorovný smyk.

- Vertikální smyk:

Musí platit podmínka:

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd} = 0,9 \sum A_{TW} \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 1,04 A_{TW} f_{yd}, \text{ kde:}$$

součinitel 0,9 zohledňuje nerovnoměrný průběh smykového napětí po obou pásech,

A_{TW} – plocha stojiny jednoho pásu T (viz obrázky kapitola 6.1).

- Konzola:

$$V_{Ed} = 181,38 \text{ kN (maximální hodnota na konzole dle obálky posouvajících sil – viz str. 21)}$$

$$A_{TW} = 720 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = 1,04 \cdot 720 \cdot 355 = 265824 \text{ N} = 265,824 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 181,38 \text{ kN} < V_{pl,Rd} = 265,824 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

- Sloup:

$$V_{Ed} = 7,08 \text{ kN}$$

$$A_{TW} = 320 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = 1,04 \cdot 320 \cdot 355 = 118144 \text{ N} = 118,144 \text{ kN}$$

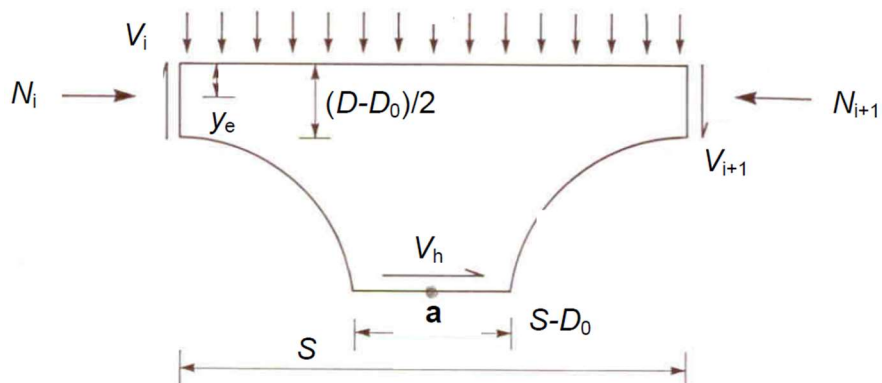
$$V_{Ed} = 7,08 \text{ kN} < V_{pl,Rd} = 118,144 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

Nosníky na vertikální smyk vyhovují

- Vodorovný smyk:

Posoudíme, jestli zvolena rozteč otvorů ve stojinách vyhovuje. V rámci jednotlivých nosníků otvory jsou ve stejných vzdálenostech. Výpočet vodorovného smyku provedeme v osách sloupu a konzoly. Jeho velikost přibližně (po zanedbání vlivu zatížení nad výsekem stojiny) stanovíme podle obrázku níže a posoudíme příslušný smyk.

Z momentové podmínky k bodu a (kde se podle Vierendeelova modelu předpokládá moment nulový) plyne vodorovný smyk:



Obr. Vodorovný smyk ve výseku stojiny

$$V \approx V_i \approx V_{i+1}$$

$$(N_{i+1} - N_i)(h - 2y_e) = (V_{i+1} + V_i) \frac{S}{2}, \text{ kde:}$$

y_e – vzdálenost těžiště pásu od krajních vláken,

S – rozteč otvorů.

$$V_h = N_{i+1} - N_i \cong \frac{S}{(h - 2y_e)} V_{Ed}$$

A musí platit podmínka:

$$V_h \leq V_{pl,Rd} = (S - D_0) t_w \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}, \text{ kde:}$$

D_0 je průměr otvoru.

- Konzola:

$$y_e = 17,74 \text{ mm}$$

$$t_w = 8 \text{ mm}$$

$$h = 532 \text{ mm}$$

$$S = 470,92 \text{ mm (posuzuje se oblast mezi dvěma největšími otvory)}$$

$$D_0 = \frac{320 + 274}{2} = 297 \text{ mm (uvažuje se průměrná hodnota velikosti průměrů dvou největších otvorů)}$$

$$V_h = \frac{470,92}{(532 - 2 * 17,74)} * 181,38 = 172,028 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = (470,92 - 297) * 8 * \frac{355}{\sqrt{3}} = 285172 \text{ N} = 285,172 \text{ kN}$$

$$V_h = 172,028 \text{ kN} < V_{pl,Rd} = 285,172 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

- Sloup:

$$y_e = 10,55 \text{ mm}$$

$$t_w = 8 \text{ mm}$$

$$h = 532 \text{ mm}$$

$$S = 672 \text{ mm}$$

$$D_0 = 420 \text{ mm}$$

$$V_h = \frac{672}{(532 - 2 * 10,55)} * 7,08 = 9,313 \text{ kN}$$

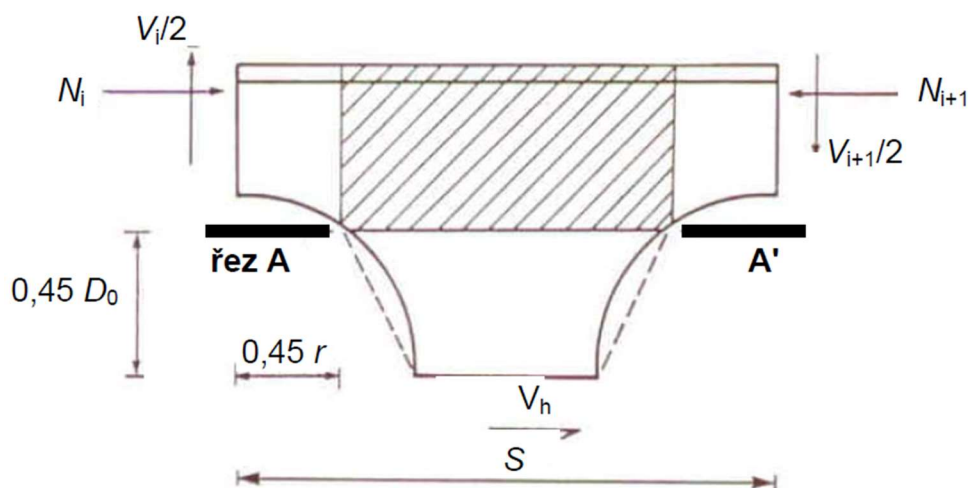
$$V_{pl,Rd} = (672 - 420) * 8 * \frac{355}{\sqrt{3}} = 413198 \text{ N} = 413,198 \text{ kN}$$

$$V_h = 9,313 \text{ kN} < V_{pl,Rd} = 413,198 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

Nosníky na vodorovný smyk vyhovují

6.3 Únosnost stojiny mezi otvory v ohybu a vzpěru (boulení)

Posoudíme moment ve stojině v řezu A-A' podle obrázku níže.



Obr. Řez A-A'
pro posouzení
stojiny v ohybu
a tlaku

Má platit:

$M < M_{\max}$, kde ohybový moment v řezu A-A' je:

$M = 0,45 D_0 V_h$ (výpočet V_h – viz kapitola 6.2).

Na základě toho, že posuzují se stejné oblasti jako v kapitole 6.2 – vodorovný smyk, veličiny D_0 , S , V_h , t_w u konzoly a sloupu se nemění.

Z metody konečných prvků plyne přípustný moment v řezu A-A':

$$M_{\max} = \left[C_1 \left(\frac{S}{D_0} \right) - C_2 \left(\frac{S}{D_0} \right)^2 - C_3 \right] M_{el}.$$

Pružná únosnost stojiny v řezu A-A':

$M_{el} = W_{el} f_{yd}$ – průřez pro W_{el} má tvar obdélníka $t_w \times (S - 0,436 D_0)$.

Součinitele C_1 až C_3 jsou uvedeny následovně:

$$C_1 = 5,097 + 0,1464 \left(\frac{D_0}{t_w} \right) - 0,00174 \left(\frac{D_0}{t_w} \right)^2,$$

$$C_2 = 1,441 + 0,0625 \left(\frac{D_0}{t_w} \right) - 0,000683 \left(\frac{D_0}{t_w} \right)^2,$$

$$C_3 = 3,645 + 0,0853 \left(\frac{D_0}{t_w} \right) - 0,00108 \left(\frac{D_0}{t_w} \right)^2.$$

Spočítáme ohybový moment a přípustný moment v řezu A-A' pro kritické oblasti konzoly a sloupu, následně posoudíme.

- Konzola:

$$M = 0,45 * 297 * 172,028 * 10^3 = 22991542 \text{ N.mm} = 22,992 \text{ kN.m}$$

$$W_{el} = \frac{1}{6} t_w (S - 0,436 D_0)^2 = \frac{1}{6} * 8 * (470,92 - 0,436 * 297)^2 = 155430,772 \text{ mm}^3$$

$$M_{el} = 155430,772 * 355 = 55177924 \text{ N.mm} = 55,178 \text{ kN.m}$$

$$C_1 = 5,097 + 0,1464 \left(\frac{297}{8} \right) - 0,00174 \left(\frac{297}{8} \right)^2 = 8,134$$

$$C_2 = 1,441 + 0,0625 \left(\frac{297}{8} \right) - 0,000683 \left(\frac{297}{8} \right)^2 = 2,820$$

$$C_3 = 3,645 + 0,0853 \left(\frac{297}{8} \right) - 0,00108 \left(\frac{297}{8} \right)^2 = 5,323$$

$$M_{\max} = \left[8,134 * \left(\frac{470,92}{297} \right) - 2,820 \left(\frac{470,92}{297} \right)^2 - 5,323 \right] * 55,178 = 26,730 \text{ kN.m}$$

$$M = 22,992 \text{ kN.m} < M_{\max} = 26,730 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

- Sloup:

$$M = 0,45 * 420 * 9313 = 1760157 \text{ N.mm} = 1,760 \text{ kN.m}$$

$$W_{el} = \frac{1}{6} t_w (S - 0,436 D_0)^2 = \frac{1}{6} * 8 * (672 - 0,436 * 420)^2 = 318671,539 \text{ mm}^3$$

$$M_{el} = 318671,539 * 355 = 113128396 \text{ N.mm} = 113,128 \text{ kN.m}$$

$$C_1 = 5,097 + 0,1464 \left(\frac{420}{8} \right) - 0,00174 \left(\frac{420}{8} \right)^2 = 7,987$$

$$C_2 = 1,441 + 0,0625 \left(\frac{420}{8} \right) - 0,000683 \left(\frac{420}{8} \right)^2 = 2,840$$

$$C_3 = 3,645 + 0,0853 \left(\frac{420}{8} \right) - 0,00108 \left(\frac{420}{8} \right)^2 = 5,147$$

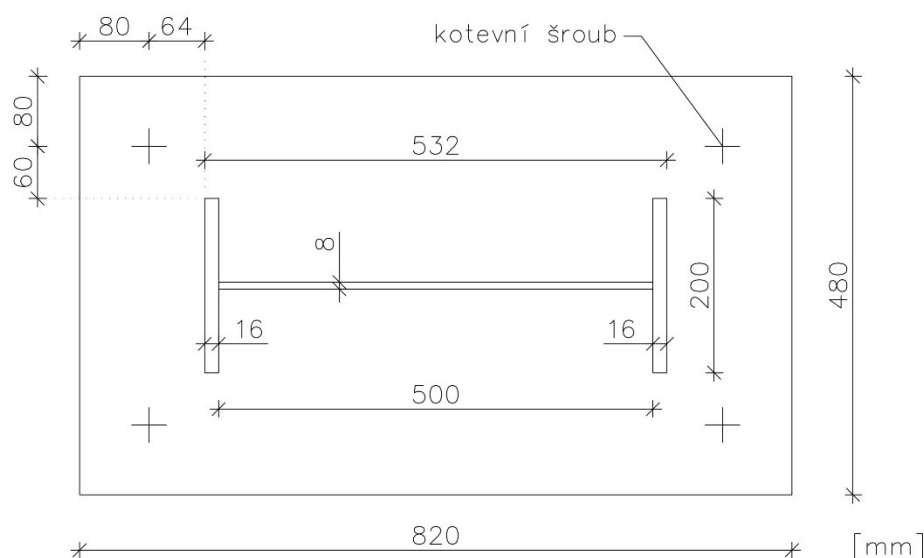
$$M_{max} = \left[7,987 * \left(\frac{672}{420} \right) - 2,840 \left(\frac{672}{420} \right)^2 - 5,147 \right] * 113,128 = 40,930 \text{ kN.m}$$

$$M = 1,760 \text{ kN.m} < M_{max} = 40,930 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

Nosníky na boulení vyhovují

7 Patka sloupu

V této kapitole provedeme návrh ocelové patky sloupu. Patka je vetknuta do betonového bloku. Skládá se z patního plechu, 4 kotevních šroubů, podložek, matic, smykové zarážky a podlití. Nejdřív zvolíme půdorysné rozměry patního plechu – viz obrázek dolů. Respektujeme toleranci v osazení šroubů $\pm 20 \text{ mm}$.



Obr. Půdorys patky

Návrh: patní plech P50, t = 50 mm. Plech je z oceli S355 $\rightarrow f_{yd} = 335 \text{ MPa}$,

platí pro $40 \text{ mm} < t < 100 \text{ mm}$, kde t je jmenovitá tloušťka prvku.

Betonový základ patky je z betonu C16/20 $\rightarrow f_{ck} = 16,0 \text{ MPa}$, $\gamma_c = 1,5$.

Součinitel koncentrace napětí odhadneme $k_j = 2,5$.

Návrhovou pevnost betonu spočítáme následovně:

$$f_{jd} = \frac{2}{3} * \frac{k_j * f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} * \frac{2,5 * 16}{1,5} = 17,78 \text{ MPa}.$$

Vzdálenost „c“ pro výpočet plochy tlačené oblasti pod patním plechem A_{eff} je:

$$c = t * \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 * f_{jd}}} = 50 * \sqrt{\frac{335}{3 * 17,78}} = 129 \text{ mm}.$$

7.1 Posouzení patky na kombinaci tlaku a ohybu, na prostý tah

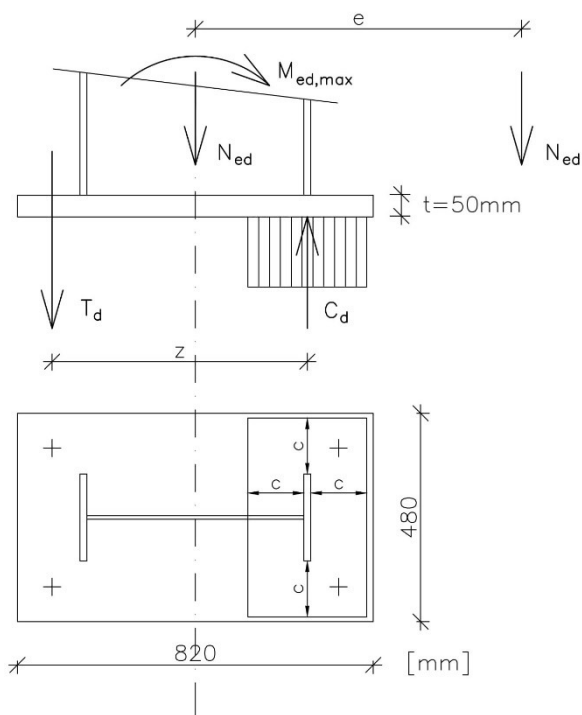
Provedeme posouzení ocelové patky sloupu na kombinaci $M_{ed,max} + N_{ed}$ (tlak), $N_{ed,max}$ (tlak) + M_{ed} a na prostý tah.

- Kombinace maximálního ohybového momentu $M_{ed,max}$ a tlakové normálové síly N_{ed} :

Z obálky ohybových momentů (viz str. 21) dostaneme pro průřez v patce:

$$M_{ed,max} = 198,17 \text{ kN.m}.$$

$N_{ed} = 263,60 \text{ kN}$ (tlak) – normálová síla příslušná pro kombinaci vyvolávající $M_{ed,max}$ (kombinace zatěžovacích stavů CO24).



Ohybový moment se do posudku vetknuté patky zavede excentricitou působící normálové síly – viz obr. vlevo. Excentricita působíště normálové síly je:

$$e = \frac{M_{ed,max}}{N_{ed}} = \frac{198,17}{263,60} = 0,752 \text{ m}.$$

$$A_{eff} = (129 + 16 + 129) * (129 + 200 + 129) = 125492 \text{ mm}^2$$

$$C_d = A_{eff} * f_{jd} = 125492 * 17,78 = 2231248 \text{ N} = 2231,25 \text{ kN}$$

$$z = 64 + 532 - 16/2 = 588 \text{ mm} = 0,588 \text{ m}$$

$$M_{pl,Rd} = C_d * z = 2231,25 * 0,588 = 1311,98 \text{ kN.m}$$

Musí být splněna podmínka:

$$M_{pl,Rd} \geq M_{ed,max},$$

$$M_{pl,Rd} = 1311,98 \text{ kN.m} > M_{ed,max} = 198,17 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK.}$$

$$C_{d,min} = \frac{M_{ed,max}}{z} = \frac{198,17}{0,588} = 337,02 \text{ kN}$$

Ze svislé podmínky rovnováhy získáme sílu do kotevních šroubů:

$$T_{d,min} = C_{d,min} - N_{ed},$$

$$T_{d,min} = 337,02 - 263,60 = 73,42 \text{ kN.}$$

Tahem jsou namáhány dva kotevní šrouby. Každý z nich musí přenést sílu:

$$T_{d,1,min} = \frac{T_{d,min}}{2} = \frac{73,42}{2} = 36,71 \text{ kN.}$$

Šrouby jsou z konstrukční oceli S355, $f_u = 470 \text{ MPa}$.

$$T_{d,1} = A_{sr} * 0,8 * f_u - \text{platí pro řezaný závit}$$

Potřebná průřezová plocha jednoho kotevního šroubu se rovná:

$$A_{sr,req} = \frac{T_{d,1,min}}{0,8 * f_u} = \frac{36,71 * 10^3}{0,8 * 470} = 98 \text{ mm}^2.$$

Z toho vyplývá, že minimální průměr šroubu je:

$$d_{req} = \sqrt{\frac{4 * A_{sr,req}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 98}{\pi}} = 11,2 \text{ mm. Z konstrukčních důvodů ale navrhujeme kotevní šrouby } d = 40 \text{ mm.}$$

Návrh: 4 x zabetonovaný šroub M40x3 s kotevní hlavou (v každé patce). Ověříme provedený návrh.

$$A_{sr} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi * 40^2}{4} = 1256 \text{ mm}^2$$

$$T_{d,1} = 1256 * 0,8 * 470 = 472256 \text{ N} = 472,26 \text{ kN}$$

$$T_d = T_{d,1} * 2 = 472,26 * 2 = 944,52 \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd} = T_d * z = 944,52 * 0,588 = 555,38 \text{ kN.m}$$

$$M_{pl,Rd} = 555,38 \text{ kN.m} > M_{ed,max} = 198,17 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK.}$$

- Vliv páčení šroubů:

Pro vyloučení páčení dle ČSN 73 1401 tloušťka patního plechu musí splňovat podmínku:

$t > 4,3 * \sqrt[3]{\frac{m * d^2}{e}}$, kde m, e – jsou vodorovné vzdálenosti osazení kotevního šroubu od kraje patního plechu a pásnice sloupu, d je průměr šroubu. Z obr. „Půdorys patky“ na str. 38 vyplývá:

$$m = 64 \text{ mm},$$

$$e = 80 \text{ mm}.$$

$$t > 4,3 * \sqrt[3]{\frac{64 * 40^2}{80}} = 46,7 \text{ mm}$$

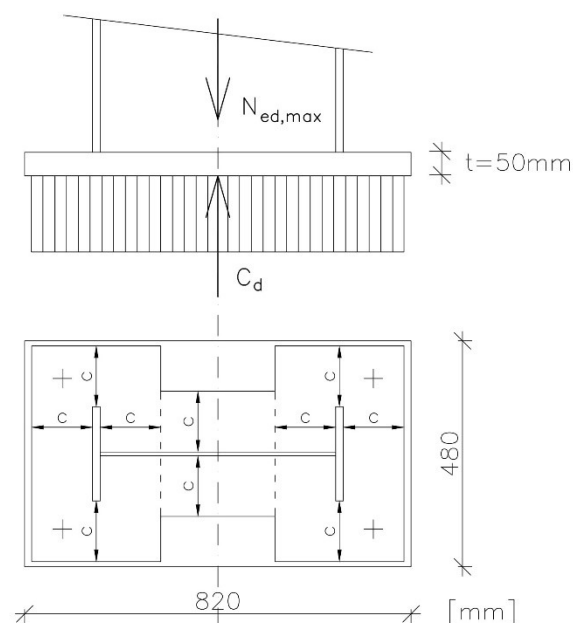
$t = 50 \text{ mm} > 46,7 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$, patní plech P50 vyhovuje z hlediska páčení.

- Kombinace maximální tlakové normálové síly $N_{ed,max}$ a ohybového momentu M_{ed} :

Z obálky normálových sil (viz str. 21) dostaneme pro průřez v patce:

$$N_{ed,max} = 362,25 \text{ kN (tlak)}.$$

$M_{ed} = 1,07 \text{ kN.m}$ – ohybový moment příslušný pro kombinaci vyvolávající $N_{ed,max}$ (kombinace zatěžovacích stavů CO17).



$$e = \frac{M_{ed}}{N_{ed,max}} = \frac{1,07}{362,25} = 0,00295 \text{ m} = 2,95 \text{ mm} < 0,4 L, \text{ kde } L = 820 \text{ mm}.$$

$$e = 2,95 \text{ mm} < 0,4 * 820 = 328 \text{ mm} \rightarrow \rightarrow \text{předpokládá se, že tah nevzniká}.$$

Tlačená oblast betonu pod patním plechem je přehledně znázorněna na obrázku vlevo.

$$A_{eff} = (129 + 16 + 129) * (129 + 200 + 129) * 2 + (129 + 8 + 129) * (532 - 16 * 2 - 129 * 2) = 315356 \text{ mm}^2$$

$$C_d = A_{eff} * f_{jd} = 315356 * 17,78 = 5607030 \text{ N} =$$

$$= 5607,03 \text{ kN}$$

$$C_d = 5607,03 \text{ kN} > N_{ed,max} = 362,25 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

- Prostý tah:

Pro posouzení patky v prostém tahu je nutné, aby byla splněna podmínka:

$$4 * T_{d,1} \geq N_{tah,max}.$$

Z obálky normálových sil dostaneme maximální tahovou sílu $N_{tah,max} = 64,45 \text{ kN}$.

Tahem jsou namáhány všechny 4 kotevní šrouby (M40x3) patky.

$$A_{\text{šr}} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi * 40^2}{4} = 1256 \text{ mm}^2$$

$$T_{d,1} = A_{\text{šr}} * 0,8 * f_u = 1256 * 0,8 * 470 = 472256 \text{ N} = 472,26 \text{ kN}$$

$$4 * 472,26 = 1889,04 \text{ kN} > 64,45 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

Kombinace tahu a velmi malého příslušného ohybového momentu není posuzována, neboť rezerva je dostatečná.

Patka v příčném směru vyhovuje

7.2 Přenos zatížení větrem v podélném směru

Daná problematika již byla zmíněna v kapitole 2.2.2 „Podélný vítr“ na str. 8. Teď spočítáme síly W od podélného větru a způsobeny jimi ohybový moment, který namáhá patku sloupu.

A – návětrná plocha prvku

h – rameno síly W

- Informační cedule:

$$A_{\text{cedule}} = 10,396 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2 \rightarrow c_{pe} = c_{pe,10}, \text{ poměr } \frac{h}{d} = \frac{1130}{15} = 75,3 \text{ (rozměr } d \text{ je dle obrázku „Označení svislých oblastí“ na str. 7, rozměr } h \text{ je výška zatíženého větrem prvku)}$$

oblast D, $c_{pe,10} = +0,8$ (tlak)

oblast E, $c_{pe,10} = -0,7$ (sání)

$h_{\text{cedule}} = 3879 \text{ mm} = 3,879 \text{ m}$ – rameno síly W_{cedule} působící kolem patky sloupu

$$W_{\text{cedule}} = A_{\text{cedule}} * q_p(z_e) * c_{pe,10} = 10,396 * 0,568 * (0,8 + 0,7) = 8,857 \text{ kN} \text{ (výpočet } q_p(z_e) \text{ je na str. 5-6).}$$

$$M_{\text{cedule}} = 2 * W_{\text{cedule}} * h_{\text{cedule}} = 2 * 8,857 * 3,879 = 68,713 \text{ kN.m}$$

- Sloup:

$$A_{\text{sloup}} = 3 * 0,016 * 2 + (3 * 0,5 - 4 * \pi * (0,21)^2) = 1,042 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ m}^2 < A_{\text{sloup}} < 10 \text{ m}^2 \rightarrow c_{pe} = c_{pe,1} + (c_{pe,10} - c_{pe,1}) * \log_{10} A_{\text{sloup}}$$

$$\text{poměr } \frac{h}{d} = \frac{3}{0,2} = 15$$

oblast D (tlak): $c_{pe,1} = +1,0$

$c_{pe,10} = +0,8$

$$c_{pe} = 1 + (0,8 - 1) * \log_{10} 1,042 = + 0,996$$

$$\text{oblast E (sání):} \quad c_{pe,1} = - 0,7$$

$$c_{pe,10} = - 0,7$$

$$c_{pe} = -0,7 + (-0,7 + 0,7) * \log_{10} 1,042 = - 0,7$$

$$W_{sloup} = A_{sloup} * q_p(z_e) * c_{pe} = 1,042 * 0,568 * (0,996 + 0,7) = 1,004 \text{ kN}$$

$$M_{sloup} = 7 * W_{sloup} * h_{sloup} = 7 * 1,004 * 1,85 = 13,002 \text{ kN.m}$$

- Tření:

Třecí síly se aplikují na plochách rovnoběžných se směrem větru. V případě navrhované konstrukce spočítáme třecí sílu střešního pláště způsobenou podélným větrem.

Součinitel tření pro velmi hrubý povrch (trapézový plech) je $c_{fr} = 0,04$.

Plocha střechy vystavená působení třecích sil je $A_{střecha} = 9 * 42 = 378 \text{ m}^2$.

$$W_{tření} = c_{fr} * A_{střecha} * q_p(z_e) = 0,04 * 378 * 0,568 = 8,588 \text{ kN}$$

$$M_{tření} = W_{tření} * h_{tření} = 8,588 * 4,5 = 38,646 \text{ kN.m}$$

- Celkem:

Celkový ohybový moment od podélného větru působící na všechny příčné vazby (konkrétně patky sloupů):

$$M_{celkem} = M_{cedule} + M_{sloup} + M_{tření} = 68,713 + 13,002 + 38,646 = 120,361 \text{ kN.m}$$

Ohybový moment působící na jednu příčnou vazbu (předpokládáme rovnoměrné rozložení zatížení na jednotlivé vazby):

$$M_{1 \text{ vazba}} = \frac{M_{celkem}}{7} = \frac{120,361}{7} = 17,194 \text{ kN.m}$$

- Posouzení:

$$N_{ed,max} = 362,25 \text{ kN (tlak)}$$

Půdorysné rozměry patního plechu pro dané posouzení dle obrázku na str. 38:

$$L = 480 \text{ mm}, B = 820 \text{ mm}.$$

$$e = \frac{M_{1 \text{ vazba}}}{N_{ed,max}} = \frac{17,194}{362,25} = 0,047 \text{ m} < 0,4 * L = 0,4 * 0,48 = 0,192 \text{ m} \rightarrow \text{předpokládá se, že}$$

tah nevzniká. Odtud podmínka:

$$B * (L - 2e) * f_{jd} \geq N_{ed,max}$$

$$820 * (480 - 2 * 47) * 17,78 = 5627726 \text{ N} = 5627,73 \text{ kN} > N_{ed,max} = 362,25 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

Patka v podélném směru vyhovuje

7.3 Smyková zarážka

Nejdříve musíme zjistit, jestli se vodorovná posouvající síla přenesou pouhým třením ve spáře mezi betonem a ocelí. Smyková únosnost ve spáře mezi betonem a ocelí v důsledku tření je:

$V_{Rd} = \mu * N_{ed}$, kde μ je součinitel tření (uvažujeme $\mu = 0,2$), N_{ed} je svislá tlaková síla.

Pokud by byla splněna podmínka níže, smyková zarážka není potřeba:

$$V_{Rd} = \mu * N_{ed} \geq V_{ed,max}$$

V daném případě rozhoduje kombinace zatížení CO9 s největší posouvající silou při tahové normálové síle ve spáře mezi ocelí a betonem:

$V_{ed,max} = 7,08 \text{ kN}$ – největší posouvající síla v průřezu patky dle obálky (viz str. 21),

$N_{ed} = 17,37 \text{ kN}$ (tah) – tahová normálová síla odpovídající $V_{ed,max}$.

CO9 – minimální stálé + sání větru na jednu stranu „vlaštovky“

Tření nevzniká, veškerou posouvající sílu $V_{ed,max}$ je nutné přenést smykovou zarážkou.

- Návrh smykové zarážky:

Návrh: kruhová trubka TR102x12,5.

$$A_v = 2238 \text{ mm}^2$$

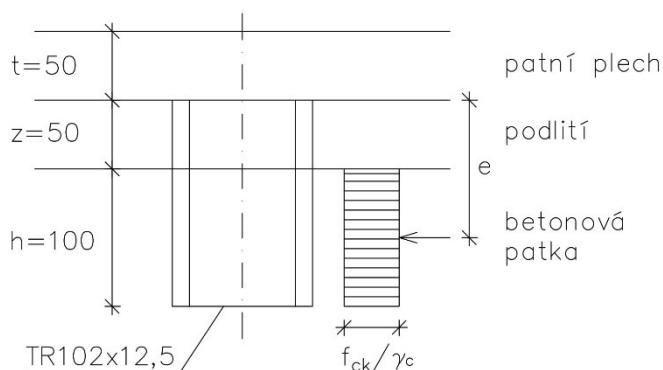
$$W_{pl} = 100,8 * 10^3 \text{ mm}^3$$

Ocel S355 $\rightarrow f_y = 355 \text{ MPa}$

$$b = d = 102 \text{ mm}$$

$$h \geq \frac{V_{ed,max}}{b * \frac{f_{ck}}{\gamma_c}} = \frac{7080}{102 * \frac{16}{1,5}} = 6,5 \text{ mm}$$

Zvolíme $h = 100 \text{ mm}$.



Obr. Smyková zarážka

- Posouzení na smyk:

$$V_{pl,Rd} = A_v * \frac{f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = 2238 * \frac{355}{\sqrt{3} * 1,0} = 458699 \text{ N} = 458,70 \text{ kN} > V_{ed,max} = 7,08 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

$$V_{pl,Rd} = 458,70 \text{ kN} > 2 * V_{ed,max} = 2 * 7,08 = 14,16 \text{ kN} \rightarrow \text{malý smyk}$$

- Posouzení na ohyb:

Výška podlití $z = 50 \text{ mm}$ – viz obrázek výše.

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 100,8 * 10^3 * \frac{355}{1,0} = 35784000 \text{ N.mm} = 35,784 \text{ kN.m}$$

$$M_{ed} = V_{ed,max} * e = 7,08 * \left(\frac{50 + 100/2}{1000} \right) = 0,708 \text{ kN.m}$$

$$M_{pl,Rd} = 35,784 \text{ kN.m} > M_{ed} = 0,708 \text{ kN.m} \rightarrow \text{OK}$$

Smyková zarážka vyhovuje

8 Použitá literatura

1. ČSN EN 1993-1. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha : ČNI, aktuální vydání.
2. ČSN EN 1991-1-3. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha : ČNI, aktuální vydání.
3. ČSN EN 1991-1-4. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha : ČNI, aktuální vydání.
4. Studnička J., Holický M., Marková J. *Ocelové konstrukce 2, Zatížení*. Praha : ČVUT, 2011.
5. Vraný T., Wald F. *Ocelové konstrukce, Tabulky*. Praha : ČVUT, 2009.
6. Jandera M., Eliášová M., Vraný T. *Ocelové konstrukce 01 – Cvičení*. Praha : ČVUT, 2015.
7. Macháček J. *Nosníky s kruhovými otvory – stručný návod pro diplomanty*. Praha : ČVUT – webové stránky.



Fakulta stavební
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Zastřešení železničního nástupiště

Roofing of a railway station

Technická zpráva

Albert Zaruba
Praha 2018

Obsah

1	Všeobecná část	2
1.1	Identifikační údaje	2
2	Technická část	2
2.1	Popis konstrukce	2
2.2	Dispozice	2
2.3	Nosná konstrukce	2
2.4	Střešní plášť a vaznice	2
2.5	Ztužení konstrukce	3
2.6	Kotvení a založení konstrukce	3
3	Materiály	3
4	Výroba	4
4.1	Sloup	4
4.2	Konzoly	4
4.3	Přechodová část sloupu na konzoly (rámové rohy)	4
5	Statický výpočet	5
6	Postup montáže	5
6.1	Doprava	5
6.2	Montáž na stavbě	5
7	Ochrana proti korozi	6
7.1	Ochrana proti atmosférické korozi	6
7.2	Technologie provedení nátěrů	6
8	Ochrana proti požáru	6

1 Všeobecná část

1.1 Identifikační údaje

- Stavba: Zastřešení nástupiště nádraží s půdorysnou plochou zastřešení 9 x 42 m
- Místo stavby: Liberec, Liberecký kraj
- Projektant: Albert Zaruba

2 Technická část

2.1 Popis konstrukce

Řešeným objektem je ocelová konstrukce zastřešení nástupiště železničního nádraží. Konstrukce je typu tzv. "Vlaštovka", z nosníků s kruhovými otvory. Schodišťové výstupy na nástupiště jsou řešeny pouze dispozičně, protože neovlivňují ocelovou konstrukci zastřešení.

2.2 Dispozice

Délka konstrukce je 42 m. Hlavní nosná konstrukce je tvořená 7 příčnými vazbami typu "vlaštovka" v osové vzdálenosti 7 m. Šířka konstrukce je 9 m, minimální světlá výška je 3 m. Největší výška konstrukce (včetně střešního pláště) nad úrovní nástupiště (v místech konců konzol) je 4,375 m. Horní hrana železobetonového základu je 0,3 m pod úrovní nástupiště.

2.3 Nosná konstrukce

Nosná konstrukce příčné vazby je tvořena sloupy a konzolami, které jsou na předmontáži svařeny do jednoho celku. Sloup je vyroben ze svařovaného profilu (stojina P500x8, pásnice P200x16). Konzoly jsou vyrobeny ze svařovaného profilu s proměnným průřezem (ve vetknutí stojina P500x8, pásnice P200x16; na konci stojina P100x8, pásnice P200x16). Ve stojině sloupu a konzol jsou vylehčovací kruhové otvory mající též estetický význam, které byly vypáleny kyslíkem.

2.4 Střešní plášť a vaznice

Střešní plášť je tvořen trapézovým plechem TR 50/260/1,00. Ten je uložen na válcovaných vaznicích profilu IPE 180. Válcované vaznice tvoří staticky spojitý nosníky o dvou polích. Na

každou konzolu jsou uloženy 3 vaznice ve vodorovných vzdálenostech 2175 mm. Vodorovná vzdálenost dvou středních vaznic je 300 mm. Přípoj vaznice ke konzole se provádí šrouby M20x45 a přípojným úhelníkem L 140x90x8 s podložkou P30, které jsou dílensky přivařeny k hornímu pásu konzoly.

2.5 Ztužení konstrukce

Ve střešní rovině jsou navržena ztužidla proti vzájemnému pootočení příčných vazeb při montáži a zajišťující stálou geometrii konstrukce. Toto ztužení je tvořeno křížovým ztužením z táhel Macalloy S460 M10, které bude umístěno v krajních polích konstrukce. Spolupůsobení vazeb v podélném směru a rozložení účinků podélného zatížení od větru zajistí kloubové spojení příčných vazeb kruhovou trubkou TR 89x6,3 v hlavách sloupů, konstrukce střešního pláště a obousměrné vetknutí patek sloupů.

2.6 Kotvení a založení konstrukce

Sloupy jsou uloženy na betonové základy (beton třídy C16/20). Patka sloupu je tvořena patním plechem P50, kotevními šrouby, podložkami, maticemi, smykovou zarážkou a podlitím. Kotvení přenáší možné tahové síly pomocí předem zabetonovaných kotevních šroubů M40x3. Každý sloup je kotven čtyřmi šrouby s kotevní hlavou. Smyková zarážka přenáší veškerou posouvající sílu v patce a je z kruhové trubky TR102x12,5. Zarážka je přivařena k patnímu plechu a zabetonována do prohlubně ŽB patky s hloubkou 100 mm. Kotevní šrouby jsou dobře utaženy (mírně předepnuté) a zabetonovány do hloubky 400 mm. Konstrukce patky (resp. otvory pro šrouby) umožňují toleranci předem zabetonovaných kotevních šroubů ± 20 mm.

3 Materiály

Pro konstrukci budou použity následující materiály.

- Konstrukční ocel podle EN 10027
 - S355 – konzola, vaznice, sloup, patní plech, kotevní šrouby, smyková zarážka, podložka a úhelník pro přípoj vaznice
 - jakostní stupeň z hlediska křehkého lomu:
 - do tloušťky plechu 15 mm stupeň JR,
 - do tloušťky plechu 20 mm stupeň J0,
 - do tloušťky plechu 35 mm stupeň J2,
 - patní plech s tloušťkou 50 mm stupeň J2 s předehřevem 200 °C.

- Konstrukční ocel podle EN 10027
 - S460 – táhla Macalloy (v případě nerezových táhel musí být vloženy izolační prvky na styku s uhlíkovou ocelí).
- Ostatní ocel
 - S320GD – trapézový plech
- Šrouby přípojů vaznic – jakostní třída 4.6
- Beton – C16/20 pro betonové patky

4 Výroba

4.1 Sloup

Sloupy jsou tvořeny svařovaným profilem. Pásnice z plechu P200x16, stojiny z plechu P500x8, délka cca 3100 mm. Patní plech tloušťky 50 mm bude před přivařením ke sloupu koutovými svary předeřhřát na 200 °C. Vylehčovací (estetické) otvory jsou vypáleny laserem nebo kyslíkem a otřepy zabroušeny.

4.2 Konzoly

Konzoly jsou tvořeny svařovaným profilem proměnného průřezu. Pásnice z plechu P200x16, stojiny z plechu P500-100x8. Vylehčovací (estetické) otvory jsou vypáleny laserem nebo kyslíkem a otřepy zabroušeny.

4.3 Přechodová část sloupu na konzoly (rámové rohy)

Stěna přechodové části (tzv. hlavice) je vyrobena z plechu P8. Zakřivené dolní pásnice jsou vyrobeny z plechu P200x16, ohnutého do poloměru $R = 170$ mm. Žlabová část horní pásnice je z ohýbaného plechu P200x16, který je ohnut do poloměru $R = 750$ mm. Radiální síly ze zakřivených pásnic přebírají radiální výztuhy. Montážní svary sloup s hlavicí – konzoly jsou provedeny tupými svary X, přičemž pro hladký průběh svarů přes celou šířku pásnic je ve stojinách proveden výřez.

5 Statický výpočet

Statický výpočet byl proveden podle platných evropských norem. Návrhové vnitřní síly byly stanoveny na základě lineárního výpočtu programem SCIA Engineer. Stabilitní výpočty k určení kritických zatížení byly rovněž provedeny programem SCIA Engineer, kritické momenty k posouzení klopení prvků byly stanoveny pomocí francouzského softwaru LTBeamN.

Zatížení bylo stanoveno podle ČSN EN 1991. Objekt se nachází ve sněhové oblasti 6 (charakteristická hodnota zatížení $3,0 \text{ kN/m}^2$) a ve větrové oblasti 3 (referenční rychlost větru $27,5 \text{ m/s}$). Kategorie terénu 4 (nejméně 15% povrchu je zastavěno budovami).

Posouzení průřezů je provedeno v souladu s ČSN EN 1993-1-1 a dalších částí Eurokódu 3.

6 Postup montáže

6.1 Doprava

Na stavbu se nosná konstrukce bude dopravovat v montážních kusech nepřesahujících délku 5 m a šířku 0,3 m: samostatné konzoly a samostatné sloupy s patkou a hlavicí. Vzhledem k délce montážních dílů budou dopravovány na podvalníku.

6.2 Montáž na stavbě

Na staveništi se jednotlivé montážní díly sestaví do konstrukčních celků. Sloup s hlavicí a konzoly budou svařeny tupými svary na stavbě v horizontální poloze (předpokládá se nastehování spojů a otáčení příčné vazby tak, aby nebylo nutné svařovat „nad hlavou“). Po svaření se celá konstrukce příčné vazby osadí na montážní podložky a předem zabetonované kotevní šrouby s kotevní hlavou, zabetonované s požadovanou tolerancí $\pm 20 \text{ mm}$. Po montáži budou příčné vazby kloubově propojeny v místě rámového rohu kruhovou trubkou TR 89x6,3.

Montážní svary budou provedeny jako tupé svary o jakosti C.

7 Ochrana proti korozi

7.1 Ochrana proti atmosférické korozi

Návrh ochrany vychází z ČSN ISO 9223. Pro návrh ochrany je použita ČSN EN ISO 2063. Pro životnost ochrany až 50 let je volena ochrana žárovým stříkáním zinkem a hliníkem, doplněná nátěrem. Podmínkou této ochrany je dobře upravený povrch. Navrhuje se proto v souladu s ČSN EN 1090-2 a ČSN EN ISO 12944-5.

Postup bude zvolen tento:

- Úprava povrchu stupněm přípravy Sa 3 (odstraněny okuje, rez, cizí látky; povrchy mají jednotný kovový vzhled).
- Žárové stříkání zinkem a hliníkem (met Zn 40 + met Al 120), tj. v celkové tloušťce 160 μm .
- 2 x uzavírací nátěr na bázi epoxidové pryskyřice nebo polyuretanu o celkové tloušťce 120 μm (nátěr 59.10 podle ČSN EN ISO 12944-5).

7.2 Technologie provedení nátěrů

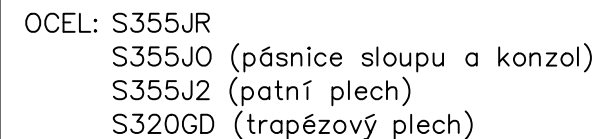
V dílně bude provedena úprava povrchů konstrukce a metalizace oběma nástřiky. Interval mezi tryskáním a prvním stříkáním musí být do 4 hodin. V místech montážních svarů se povlak vynechá na vzdálenost 5 cm od svaru. Tato místa se po svaření a montáži dometalizují.

Ochrana nátěry bude provedena po montáži, po opravě poškození žárových nástřiků v průběhu montáže.

Během zhotovování žárových nástřiků i nátěrů se požaduje provádět kontroly a vést o provádění záznam v souladu s ČSN EN 1090-2.

8 Ochrana proti požáru

Podle ČSN 73 0810 se jedná o konstrukci otevřenou s nehořlavým konstrukčním systémem DP1, kde je požární zatížení nízké. Stupeň požární bezpečnosti je I. Není proto navrhována žádná pasivní ochrana proti požáru. Aktivní ochrana případných vestaveb (stánků s občerstvením) bude zajištěna vhodným počtem hasicích přístrojů, jejichž návrh není předmětem této práce.



JR tl. do 15mm
J0 tl do 20mm
J2 tl. do 35mm

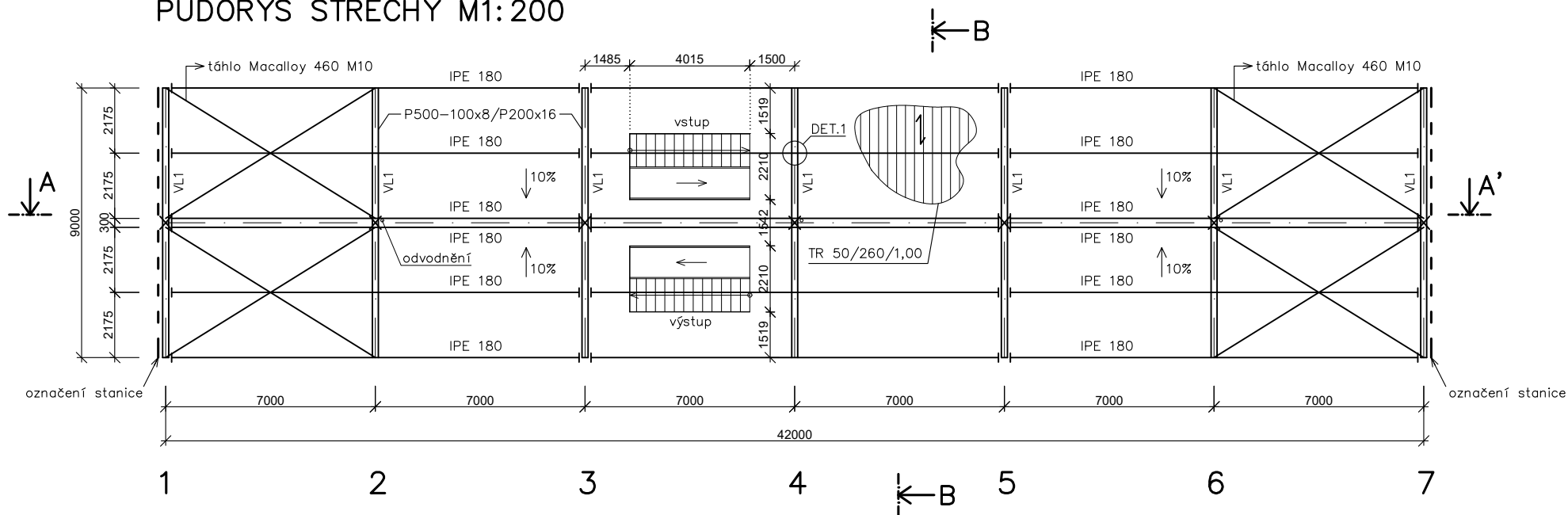
BETON C16/20

pozn. z důvodu změny konstrukčního uspořádání patky je na výkresové dokumentaci teoretická výška sloupu snížena na 3594 mm.

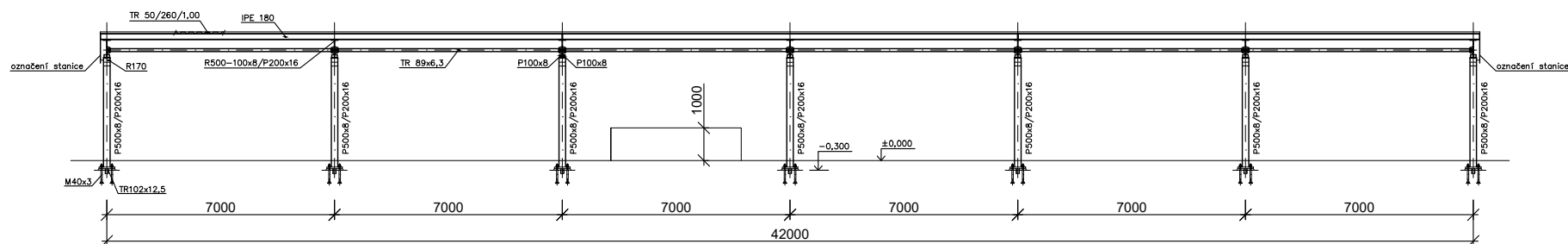
kóty jsou v mm
třída provedení EXC2

Kontroloval	Vypracoval	Fsv ČVUT Thákurova 7 160 00 Praha 6	
Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.	Albert Zaruba		
		Formát	A4
Akce:	Bakalářská práce - Zastřešení železničního nástupiště	Měřítko	1:50
Výkres:	Příčný řez	Datum	14.05.2014

PŮDORYS STŘECHY M1:200



ŘEZ A-A' – PODÉLNÝ ŘEZ M1:200



OCEL: S355JR
 S355JO (pásnice sloupu a konzol)
 S355J2 (patní plech)
 S320GD (trapézový plech)

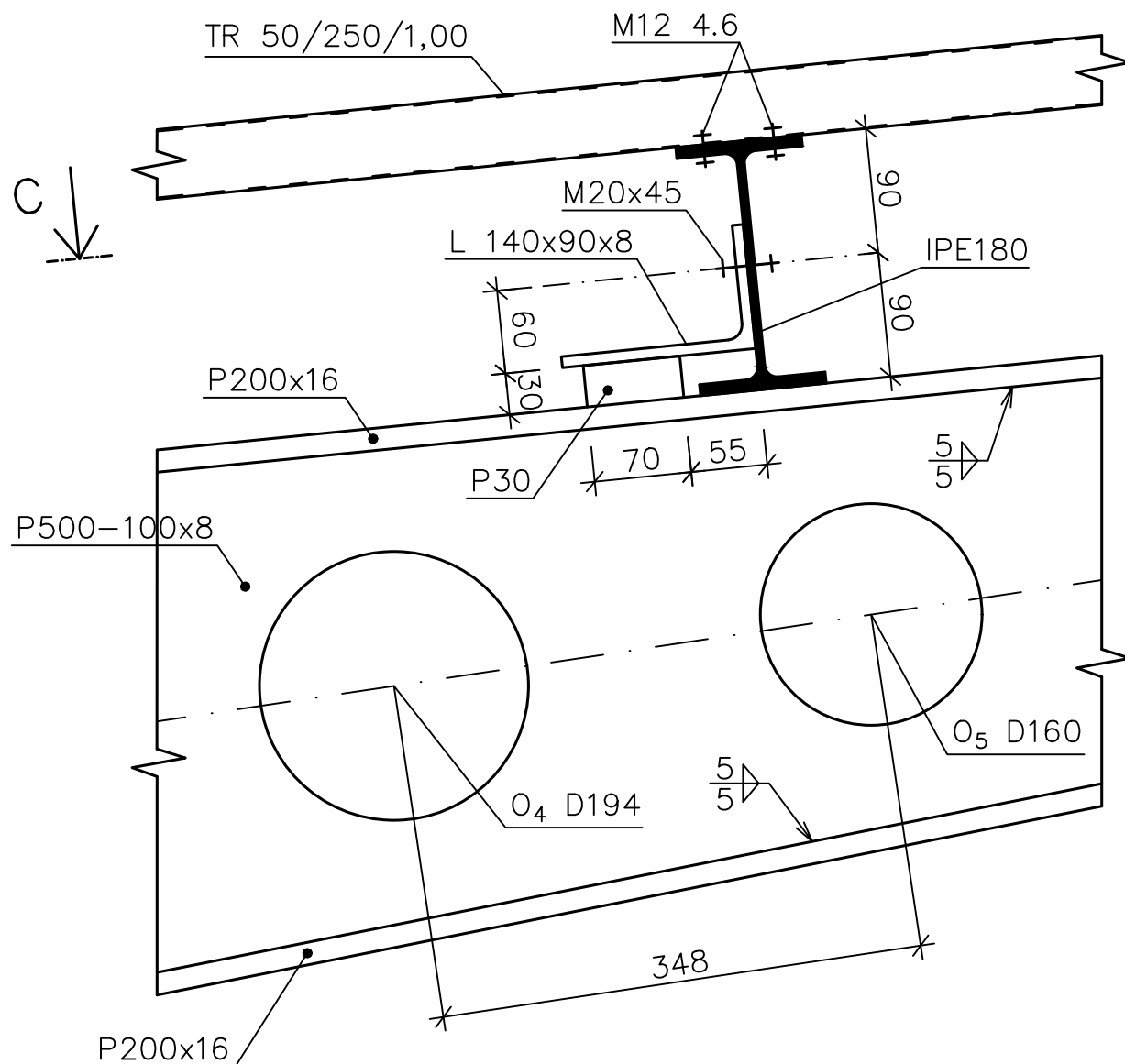
JR tl. do 15mm
 JO tl. do 20mm
 J2 tl. do 35mm

BETON C16/20

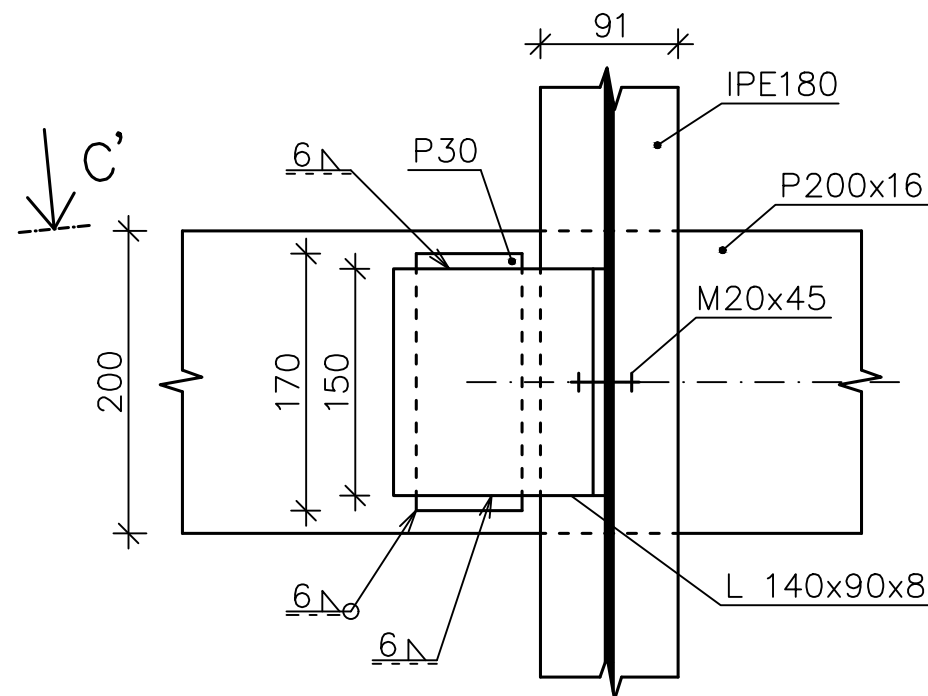
pozn. kóty jsou v mm
 třída provedení EXC2

Kontroloval	Vypracoval	Fsv ČVUT Thákurova 7 160 00 Praha 6	
		Formát	A3
Akce:	Bakalářská práce - Zastřešení železničního nástupiště	Měřítka	1:200
Výkres:	Půdorys střechy, podélný řez	Datum	14.05.2018

DETAIL 1 – PŘÍPOJ VÁLCOVANÉ VAZNICE NA KONZOLU M1:5



ŘEZ C-C' M1:5



OCEL: S355JR
S355JO (pásnice konzoly)
S320GD (trapézový plech)

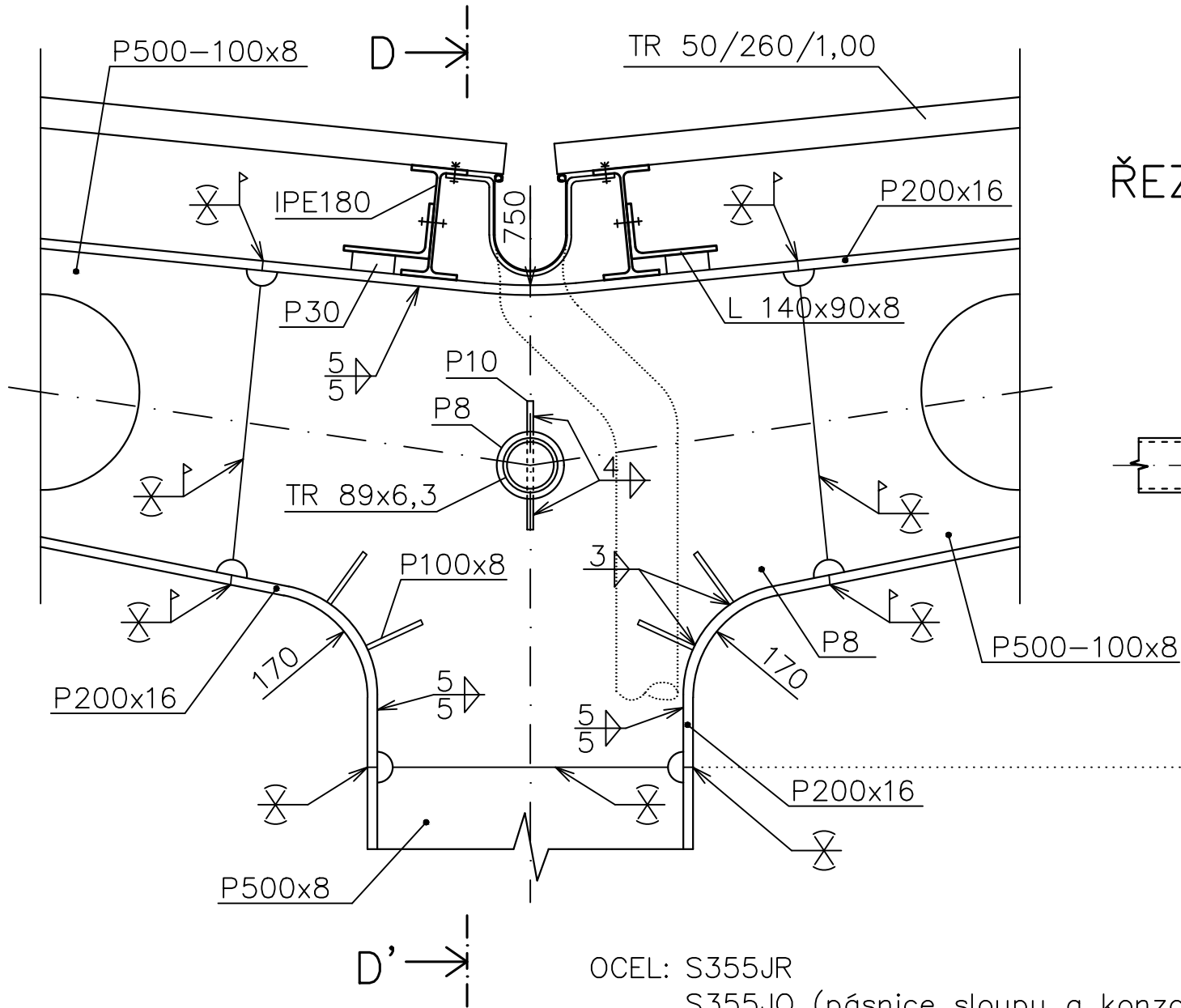
JR tl. do 15mm
JO tl. do 20mm

BETON C16/20

pozn. kóty jsou v mm
třída provedení EXC2

Kontroloval	Vypracoval	Fsv ČVUT Thákurova 7 160 00 Praha 6	
Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.	Albert Zaruba	Formát	A4
Akce:	Bakalářská práce - Zastřešení železničního nástupiště	Měřítko	1:5
Výkres:	Detail 1 - přípoj válcované vaznice na konzolu	Datum	24.05.2018

DETAIL 2 – SPOJOVACÍ ČÁST PŘÍČNÉ VAZBY M1:10

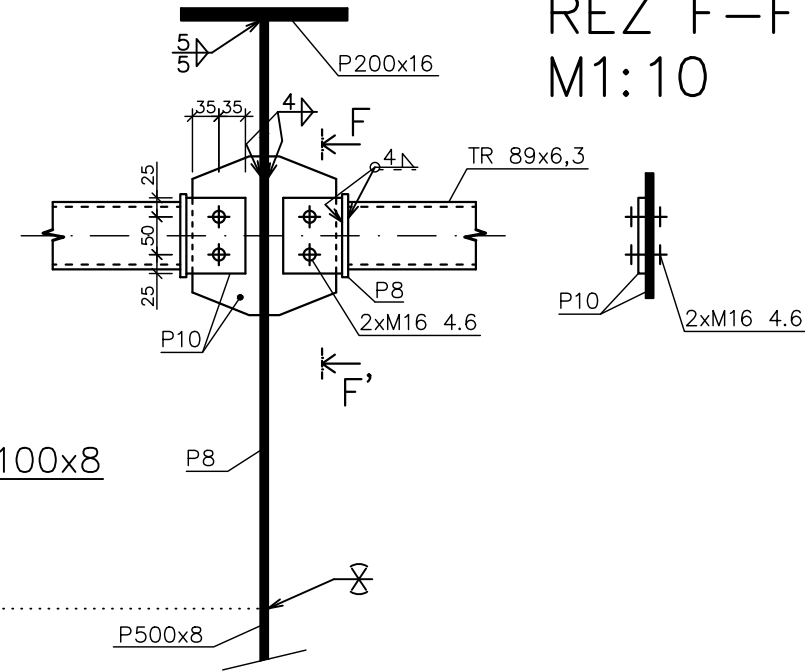


OCEL: S355JR
S355JO (pásnice sloupu a konzol)
S320GD (trapézový plech)

JR tl. do 15mm
JO tl do 20mm

ŘEZ D-D' M1:10

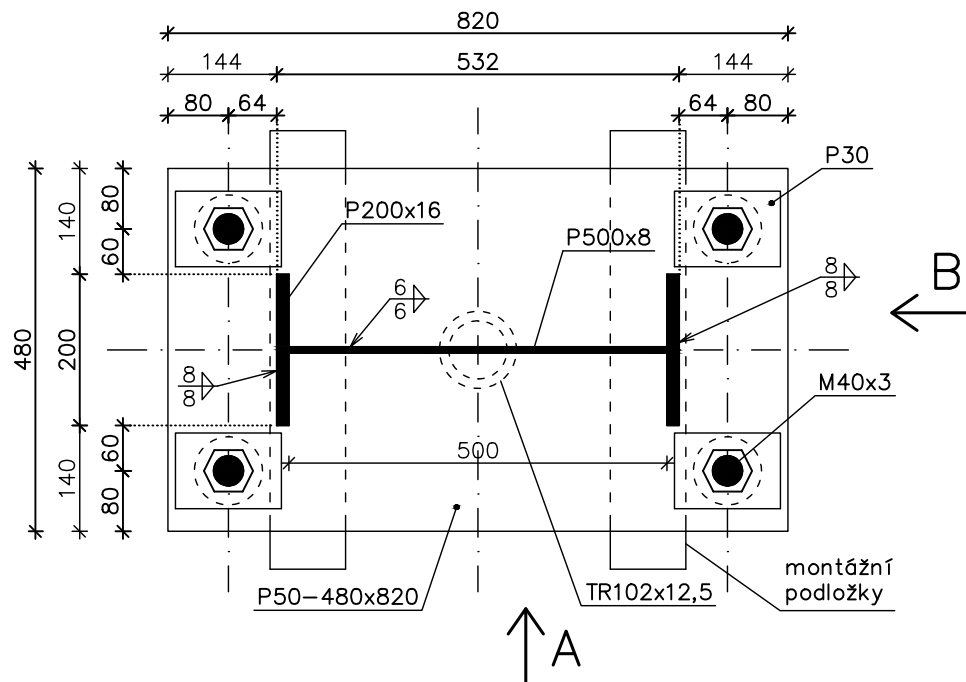
ŘEZ F—F'
M1:10



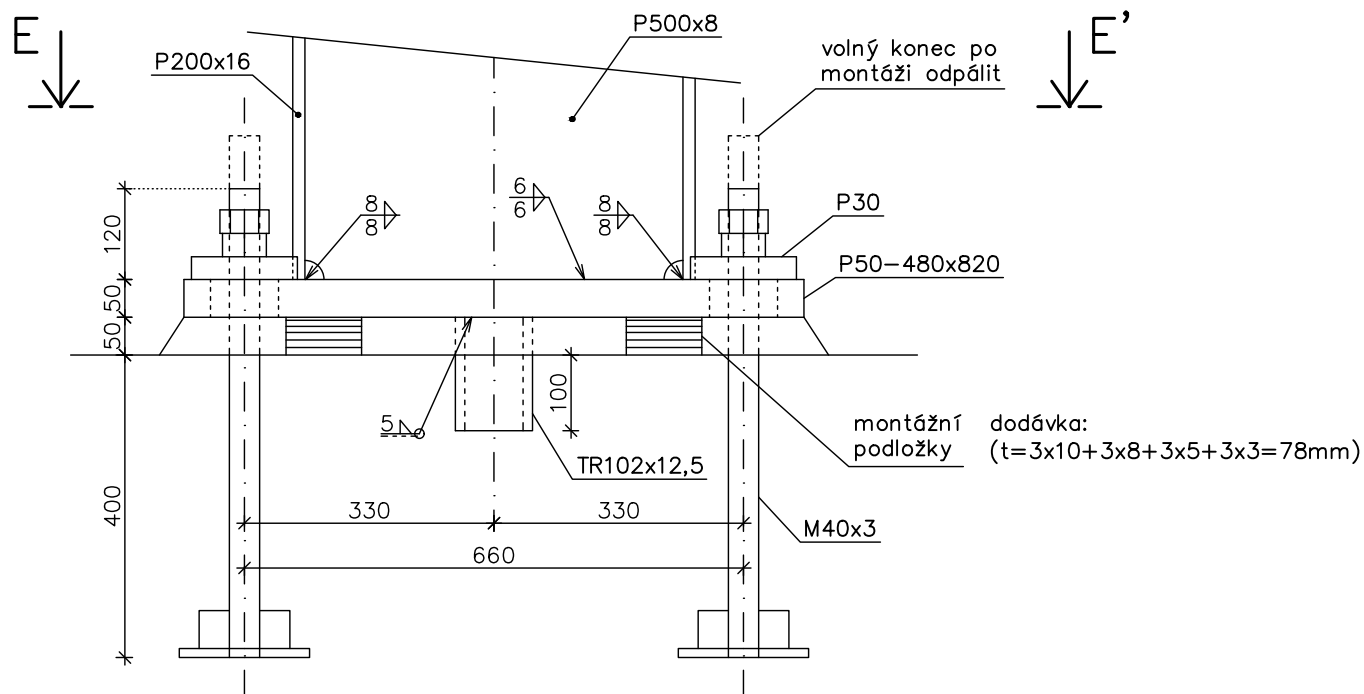
kóty jsou v mm
třída provedení EXC2

Kontroloval	Vypracoval	Fsv ČVUT Thákurova 7 160 00 Praha 6	
Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.	Albert Zaruba	Formát	A4
		Měřítko	1:10
Akce:	Bakalářská práce - Zastřešení železničního nástupiště	Datum	24.05.2018
Výkres:	Detail 2 - spojovací část příčné vazby		

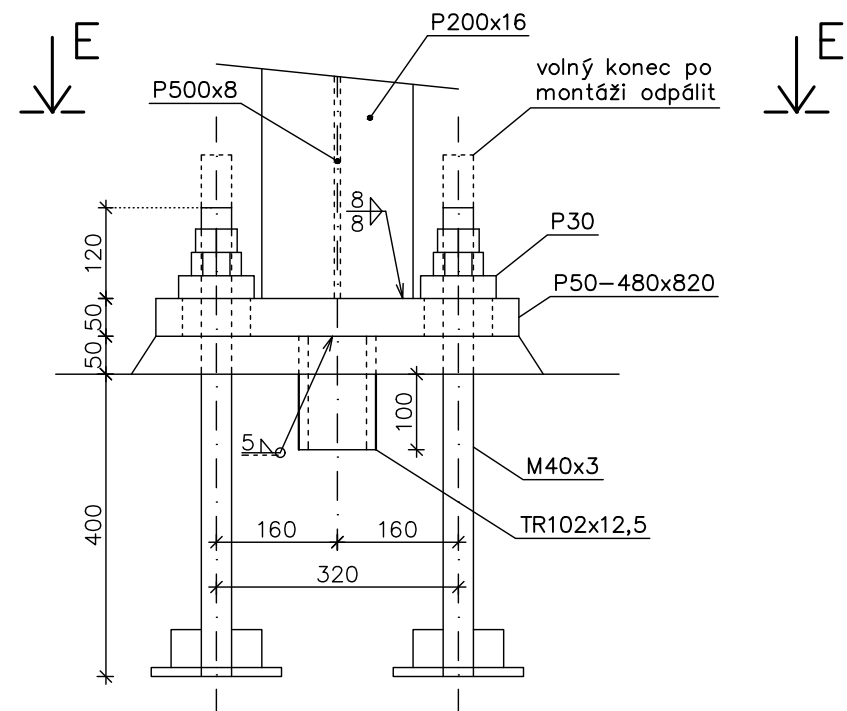
ŘEZ E-E' M1:10



DETAIL 3 – PATKA SLOUPU (POHLED A) M1:10



POHLED B M1:10



OCEL: S355JR
S355J0 (pásnice sloupu)
S355J2 (patní plech)

JR tl. do 15mm
J0 tl. do 20mm
J2 tl. do 35mm

BETON C16/20

pozn. kóty jsou v mm
třída provedení EXC2

Kontroloval	Vypracoval	Fsv ČVUT Thákurova 7 160 00 Praha 6	
Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc.	Albert Zaruba	Formát	A4
Akce:	Bakalářská práce - Zastřešení železničního nástupiště	Měřítko	1:10
Výkres:	Detail 3 - patka sloupu	Datum	24.05.2018